

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГНАТЕНКО РОМАН ГРИГОРОВИЧ

УДК 625.7/.8

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ САНАЦІЇ ТРІЩИН В АСФАЛЬТОБЕТОННОМУ ПОКРИТТІ БІТУМНО-ПОЛІМЕРНИМИ ГЕРМЕТИЗУЮЧИМИ МАТЕРІАЛАМИ

05.22.11 – Автомобільні шляхи та аеродроми

192 – Будівництво та цивільна інженерія

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

_____ Р.Г. Гнатенко

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

Гнатенко Р.Г. Удосконалення технології санації тріщин в асфальтобетонному покритті бітумно-полімерними герметизуючими матеріалами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – Автомобільні шляхи та аеродроми (192 – Будівництва та цивільна інженерія). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2021.

У дисертаційній роботі представлено вирішення важливої науково-практичної задачі, що полягає в підвищенні довговічності нежорстких дорожніх одягів шляхом герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті бітумно-полімерними герметизуючими матеріалами з підвищеною теплостійкістю, холодостійкістю та міцністю зчеплення з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини, а також використанні раціональних конструкторсько-технологічних рішень під час їхньої санації.

Під час виконання дисертаційної роботи отримані нові наукові результати, що дозволили встановити раціональні технологічні режими приготування бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів та їх використання для герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття.

Протягом експлуатаційного періоду в асфальтобетонному шарі покриття дорожніх одягів автомобільних доріг, під впливом транспортних навантажень і зовнішніх природних чинників, на різних етапах життєвого циклу виникають руйнування у вигляді тріщин. Наявність тріщин в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу призводить до інтенсивного зниження жорсткості усєї конструкції, завдяки прониканню води через них в інші шари з дискретних матеріалів та у ґрунт земляного полотна. Аналіз закордонного досвіду ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів вказує на те, що в країнах Європи найбільше поширення для

герметизації тріщин мають бітумно-полімерні композиції гарячого застосування.

Теоретично обґрунтована можливість формування структури, яка забезпечить одночасно високу холодостійкість, еластичність, експлуатаційну теплостійкість та міцність зчеплення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування з торцевими поверхнями тріщини в асфальтобетонному покритті дорожніх одягів. Обґрунтовано, що формування двох взаємопроникних просторових структур з макромолекул полімеру класу термоеластопластів і макромолекул катіонного латексу в об'ємі бітуму, можливо досягти послідовним об'єднанням їх з пластифікованим окисленим дорожнім бітумом з високим вмістом мальтенової частини.

Розроблено методику оцінювання міцності зчеплення термопластичних бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів з поверхнею асфальтобетону в тріщині, використанням якої дозволяє досліджувати закономірності впливу температурних режимів їх об'єднання на міцність зчеплення між ними.

Експериментально досліджено закономірності впливу вмісту та марочної в'язкості окисленого нафтового дорожнього бітуму, концентрації полімерів класу термоеластопластів, пластифікатора та різних за походженням наповнювачів, на показники властивостей бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування. Встановлено, що зниження температури крихкості та гнучкості бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів за низьких температур забезпечується збільшенням вмісту пластифікуючого складника у вихідному матричному бітумі. Показано, що збільшення вмісту полімеру класу термоеластопластів та катіонного латексу у складі пластифікованого матричного бітуму викликає підвищення еластичності та теплостійкості бітумно-полімерного герметика за критерієм температури розм'якшення.

Показано, що зі збільшенням концентрації мінеральних наповнювачів у складі бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу його температура

розм'якшення, температура крихкості та показник гнучкості при низьких температурах зростають, а глибина занурення голки, дуктильність та еластичність зменшуються. Встановлено, що введення полімерів до матричного бітуму забезпечує більший внесок у зростання теплостійкості за критерієм температури розм'якшення ніж насичення його дрібнодисперсними наповнювачами.

За результатами експериментальних досліджень встановлено закономірне зростання показника міцності зчеплення бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу з асфальтобетонною поверхнею тріщини при зниженні температури випробування. Встановлено, що величина температури поверхні асфальтобетонного покриття, за якої здійснюється герметизація тріщини, суттєво впливає на абсолютні значення зусилля відриву та міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетону. Показано, що зі збільшенням вмісту наповнювачів у складі бітумно-полімерної мастики гарячого застосування її міцність зчеплення з поверхнею асфальтобетону зменшується. Прогріття поверхні асфальтобетонного покриття в зоні тріщини, безпосередньо перед її герметизацією, сприяє утворенню більш міцних адгезійних зв'язків між нею та герметиком.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено при розробленні державних та галузевих нормативно-технічних документів, зокрема двох державних стандартів та галузевих рекомендацій, а також при герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті дорожніх одягів на автомобільних дорогах державного значення М-06 Київ – Чоп (км 434+230 – км 621+500), М-07 Київ – Ковель – Ягодин, М-03 Київ – Харків – Довжанський, М-18 Харків – Сімферополь – Алушта – Ялта, М-01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі та інших.

Ключові слова: асфальтобетонний шар покриття, санація, герметизуючий матеріал, бітумно-полімерна мастика, холодостійкість,

міцність зчеплення.

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. Gnatenko, R., Tsyркunova, K., and Zhdanyuk, V. Technological Sides of Crack Sealing in Asphalt Pavements. *Transportation Research Procedia*. 2016. Volume 14. P. 804-810. Cited 3 times. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.028>

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Гнатенко Р.Г., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Бітумно-полімерні мастики високої холодостійкості та теплостійкості для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Автошляховик України*. 2015. № 1-2. С.66-70.

3. Жданюк В.К., Воловик О.О., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г., Біжан О.П. Дослідження міцності зчеплення бітумінозного герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетонного покриття дорожньої конструкції в зоні тріщини. *Нові технології в будівництві*. 2018. № 35. С. 77-81. DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2018.35.13>

4. Жданюк В.К., Воловик О.О., Біжан О.П., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г. Щодо конструктивно-технологічних особливостей герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях. *Вісник ХНАДУ*. 2019. Вип. 84. С. 82-87. DOI: 10.30977/BUL.2619-5548.2019.84.0.82

5. Жданюк В.К., Воловик О.О., Біжан О.П., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г. Матеріалознавчі та конструктивно-технологічні особливості забезпечення міцності зчеплення герметизуючих матеріалів з поверхнею

асфальтобетонного покриття в зоні тріщини. *Вісник ХНАДУ*. 2019. Вип. 85. С. 66-72. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.66

Публікації апробаційного характеру:

6. Жданюк К.В., Гнатенко Р.Г., Зражевець Є.М., Жданюк В.К. Підвищення якості мастик модифікацією покрівельного бітуму комплексними добавками. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях* : материалы IX ежегодной промышленной конференции, п. Славское, 9-13 февр. 2009 г. п. Славское, 2009. С. 232-234.

7. Гнатенко Р.Г., Макарьев О.О., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Особливості технології ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве* : материалы X Международной научно-технической интернет-конференции, г. Харьков, 25 нояб. – 25 декаб. 2011 г. Харьков : ХНАГХ, 2012. С. 156-158.

8. Жданюк В.К., Лапченко А.С., Гнатенко Р.Г., Алессандро Гіаннатасіо Щодо низькотемпературних властивостей бітумів. *Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг* : матеріали міжнародної науково-технічної конференції, м. Харків, 14-16 листоп. 2013 р. Харків : ХНАДУ, 2013. С. 100-103.

9. Жданюк В.К., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г. Щодо герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве* : материалы XI Международной научно-технической интернет-конференции, г. Харьков, 25 нояб. – 25 декаб. 2013 г. Харьков : ХНАГХ, 2014. С. 92-94.

10. Гнатенко Р.Г., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Бітумно-полімерна мастика з каоліновим наповнювачем для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті* : збірник наукових праць

міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 85-річчю заснування ХНАДУ. Харків : ХНАДУ, 2015. С. 126-128.

11. Воловик О.О., Гнатенко Р.Г., Жданюк В.К. Метод та результати оцінки міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з асфальтобетонним покриттям в зоні тріщин. *Будівництво та експлуатація об'єктів транспортної інфраструктури* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції, м. Харків, 23 жовтня 2018 р. Харків : ХНАДУ, 2018. С. 157 – 161.

12. Жданюк В.К., Гнатенко Р.Г. Основні фактори, що впливають на довготривалу водонепроникність загерметизованих тріщин в асфальтобетонних покриттях. *Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації* : матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції, м. Харків, 15 листопада 2019 р. Харків : ХНАДУ, 2019. С.106 – 109.

Опубліковані праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:

Нормативні документи:

13. ДСТУ Б В.2.7-136:2016 Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 15 с.

14. ДСТУ 8873:2019 Автомобільні дороги. Настанова з герметизації тріщин. [Чинний від 2020-07-01]. Вид. офіц. 2019. 12 с.

15. Р В. 3.2-02071168-825:2013 Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків. [Чинний від 2013-11-04]. Вид. офіц. Харків : Видавництво Укравтодор, 2013. 11 с.

Патент:

16. Патент на корисну модель № 54502 Україна, МПК (2009) C08L 95/00 C09D 195/00 Герметизуюча бітумно-полімерна мастика /

Жданюк В.К., Волювач С.В., Золотов М.С., Жданюк К.В., Гнатенко Р.Г., Арінущкіна О.О. (Україна); заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № u2010062293; заявл. 25.05.2010; опубл. 10.11.2010, Бюл. №21. 4 с.

ABSTRACT

Gnatenko R.G. Improvement of crack curing technology in asphalt wearing course with bituminen-polymer sealing materials. – Qualification scientific work as the manuscript.

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

The thesis covers solving of important scientific and practical task which implies the increase of durability of flexible road pavements by means of crack sealing in asphalt concrete pavement with bitumen-polymer sealing materials of increased heat resistance, frost resistance and strength of adhesion to asphalt concrete surface in zone of crack as well as the use of sustainable design and technological solutions during curing.

Distress such as cracks appear in asphalt concrete pavement courses of motor roads under the influence of traffic loads and external climatic factors at different stages of the service period. Cracks in asphalt pavement courses result in intensive reduction of the whole structure rigidity due to penetration of water through it to the courses of unbound materials and subgrade soil. Analysis of foreign experience of repair of cracks in asphalt concrete pavements indicates that crack sealing with hot applied bitumen-polymer materials is the most wide spread technique in Europe.

Possibility of formation of structure providing both high frost resistance, elasticity, service heat resistance and strength of adhesion of hot-applied bitumen-polymer sealing materials to crack walls of road pavement asphalt concrete has

been theoretically substantiated. It has been proved that formation of two interpenetrative spatial structures from macromolecules of thermoplastic elastomers and macromolecules of cationic latex in bitumen volume is possible to be reached by their sequenced combining with plasticized oxidized maltenes high content road bitumen.

Evaluation methodology of strength of thermoplastic bitumen-polymer sealing material adhesion to the surface of asphalt concrete in crack has been developed, which allows studying the influence pattern of temperature regimen of their combining effect on adhesion strength between them.

Influence patterns of content and viscosity of oxidized petroleum road bitumen, concentration of thermoplastic elastomers, plasticizer and various fillers on properties of hot-applied bitumen-polymer sealing materials have been experimentally studied. Decrease of brittle point and flexibility of bitumen-polymer sealing materials at low temperatures due to increase of plasticizing component amount in initial matrix bitumen has been found. Increase of thermoplastic elastomer and cationic latex content in plasticized matrix bitumen demonstrated the increase of elasticity and heat resistance of bitumen-polymer sealant by softening point criterion.

It has been determined that increase of concentration of mineral fillers in bitumen-polymer sealing material results in increase of its softening point, brittle point and flexibility at low temperatures, and decrease of needle penetration, ductility and elasticity. Introduction of polymers to matrix bitumen has been proved to provide higher increase of heat resistance by softening point criterion as compared to introduction of fine fillers.

Regular increase of strength of bitumen-polymer sealing material adhesion to asphalt concrete crack surface when decreasing test temperature has been determined by the results of the experimental research. It has been found that the value of asphalt concrete pavement temperature during crack sealing has significant influence on absolute values of pull-off load and strength of adhesion of

sealing material to asphalt concrete surface. Increase of filler content in hot-applied bitumen-polymer mastic composition has been shown to cause decrease of its strength of adhesion to asphalt concrete surface. Heating of asphalt concrete surface in zone of crack, immediately prior to its sealing, gives rise to stronger adhesive bonds between the surface and the sealant.

The results of the scientific research has been implemented in state and branch standards, including two state standards and branch recommendations as well as during sealing of cracks in asphalt concrete pavements of state motor roads M-06 Kyiv – Chop (km 434+230 – km 621+500), M-07 Kyiv – Kovel – Yagodyn, M-03 Kyiv – Kharkiv – Dovzhanskiy, M-18 Kharkiv – Simferopol – Alushta – Yalta, M-01 Kyiv – Chernihiv – Novi Yarylovychi, etc.

Key words: asphalt concrete pavement course, sanation, sealing material, bitumen-polymer mastic, frost resistance, adhesion strength.

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. Gnatenko, R., Tsyркunova, K., and Zhdanyuk, V. Technological Sides of Crack Sealing in Asphalt Pavements. *Transportation Research Procedia*. 2016. Volume 14. P. 804-810. Cited 3 times. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.028>

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Гнатенко Р.Г., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Бітумно-полімерні мастики високої холодостійкості та теплостійкості для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Автошляховик України*. 2015. № 1-2. С.66-70.

3. Жданюк В.К., Воловик О.О., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г.,

Біжан О.П. Дослідження міцності зчеплення бітумінозного герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетонного покриття дорожньої конструкції в зоні тріщини. *Нові технології в будівництві*. 2018. № 35. С. 77-81. DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2018.35.13>

4. Жданюк В.К., Воловик О.О., Біжан О.П., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г. Щодо конструктивно-технологічних особливостей герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях. *Вісник ХНАДУ*. 2019. Вип. 84. С. 82-87. DOI: 10.30977/BUL.2619-5548.2019.84.0.82

5. Жданюк В.К., Воловик О.О., Біжан О.П., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г. Матеріалознавчі та конструктивно-технологічні особливості забезпечення міцності зчеплення герметизуючих матеріалів з поверхнею асфальтобетонного покриття в зоні тріщини. *Вісник ХНАДУ*. 2019. Вип. 85. С. 66-72. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.66

Публікації апробаційного характеру:

6. Жданюк К.В., Гнатенко Р.Г., Зражевець Є.М., Жданюк В.К. Підвищення якості мастик модифікацією покрівельного бітуму комплексними добавками. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях* : материалы IX ежегодной промышленной конференции, п. Славское, 9-13 февр. 2009 г. п. Славское, 2009. С. 232-234.

7. Гнатенко Р.Г., Макарьев О.О., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Особливості технології ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве* : материалы X Международной научно-технической интернет-конференции, г. Харьков, 25 нояб. – 25 декаб. 2011 г. Харьков : ХНАГХ, 2012. С. 156-158.

8. Жданюк В.К., Лапченко А.С., Гнатенко Р.Г., Алессандро Гіаннаттасіо Щодо низькотемпературних властивостей бітумів. *Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг* :

матеріали міжнародної науково-технічної конференції, м. Харків, 14-16 листоп. 2013 р. Харків : ХНАДУ, 2013. С. 100-103.

9. Жданюк В.К., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г. Щодо герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве* : материалы XI Международной научно-технической интернет-конференции, г. Харьков, 25 нояб. – 25 декаб. 2013 г. Харьков : ХНАГХ, 2014. С. 92-94.

10. Гнатенко Р.Г., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Бітумно-полімерна мастика з каоліновим наповнювачем для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті* : збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 85-річчю заснування ХНАДУ. Харків : ХНАДУ, 2015. С. 126-128.

11. Воловик О.О., Гнатенко Р.Г., Жданюк В.К. Метод та результати оцінки міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з асфальтобетонним покриттям в зоні тріщин. *Будівництво та експлуатація об'єктів транспортної інфраструктури* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції, м. Харків, 23 жовтня 2018 р. Харків : ХНАДУ, 2018. С. 157 – 161.

12. Жданюк В.К., Гнатенко Р.Г. Основні фактори, що впливають на довготривалу водонепроникність загерметизованих тріщин в асфальтобетонних покриттях. *Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації* : матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції, м. Харків, 15 листопада 2019 р. Харків : ХНАДУ, 2019. С.106 – 109.

Опубліковані праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:

Нормативні документи:

13. ДСТУ Б В.2.7-136:2016 Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 15 с.

14. ДСТУ 8873:2019 Автомобільні дороги. Настанова з герметизації тріщин. [Чинний від 2020-07-01]. Вид. офіц. 2019. 12 с.

15. Р В. 3.2-02071168-825:2013 Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків. [Чинний від 2013-11-04]. Вид. офіц. Харків : Видавництво Укравтодор, 2013. 11 с.

Патент:

16. Патент на корисну модель № 54502 Україна, МПК (2009) C08L 95/00 C09D 195/00 Герметизуюча бітумно-полімерна мастика / Жданюк В.К., Волювач С.В., Золотов М.С., Жданюк К.В., Гнатенко Р.Г., Арінушкіна О.О. (Україна); заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № u2010062293; заявл. 25.05.2010; опубл. 10.11.2010, Бюл. №21. 4 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	16
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
1.1 Основні типи тріщин та фактори, що впливають на їх утворення в асфальтобетонному покритті дорожніх одягів	23
1.2 Наявні дані про склад та властивості матеріалів для герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожніх одягів	32
1.3 Особливості технології герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожніх одягів.....	38
1.4 Висновки по розділу. Мета і задачі дослідження	47
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ	52
2.1 Вплив складу бітумно-полімерних мастик на процеси структуроутворення та умови їх роботи в експлуатаційних умовах	52
2.2 Програма експериментальних досліджень	62
2.3 Висновки по розділу	64
РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	66
3.1 Характеристика матеріалів, прийнятих для дослідження.....	66
3.2 Методи і обладнання, прийняті для дослідження.....	72
3.3 Висновки по розділу	83
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	85
4.1 Експериментальні дослідження впливу складників на властивості бітумно-полімерних герметиків гарячого застосування, отриманих в лабораторних умовах	85
4.2 Дослідження впливу наповнювачів різного походження на властивості бітумно-полімерних мастик гарячого застосування.....	90

4.3 Результати досліджень впливу температурних режимів герметизації на міцність зчеплення герметизуючих матеріалів з асфальтобетонною поверхнею	98
4.4 Висновки по розділу	107
РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	111
5.1 Рекомендації щодо технологій герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів	111
5.2 Впровадження результатів дослідження	124
5.3 Розробка нормативно-технічних документів	136
5.4 Оцінка економічної ефективності технології герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів	137
5.5 Висновки по розділу	145
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	147
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	150
ДОДАТОК А ЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ ВІДРИВУ ТА МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ БІТУМНО-ПОЛІМЕРНОГО ГЕРМЕТИКА З АСФАЛЬТОБЕТОННОЮ ПОВЕРХНЕЮ В ЗОНІ ТРІЩИНИ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ВИЗНАЧЕНИХ ЗА РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУР	165
ДОДАТОК Б ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ	171
ДОДАТОК В СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ	186

ВСТУП

Актуальність роботи. Стан асфальтобетонного покриття дорожніх одягів автомобільних доріг та міських вулиць суттєво впливає на безпеку руху транспортних засобів. Асфальтобетонні шари покриття в конструкціях дорожнього одягу зазнають максимального спільного впливу факторів зовнішнього середовища та транспортних навантажень, які викликають утворення в них руйнувань у вигляді тріщин. Наявність тріщин в асфальтобетонному покритті сприяє проникненню вологи до нижче розташованих шарів дорожньої конструкції, що є причиною її передчасного руйнування. Для забезпечення надійної роботи нежорсткого дорожнього одягу необхідно мінімізувати негативний вплив тріщин на його довговічність. Цього можливо досягти санацією тріщин на початковій стадії їх виникнення. Відсутність своєчасних експлуатаційних заходів з санації тріщин може призвести у подальшому до збільшення витрат на ремонт асфальтобетонного покриття через його руйнування у вигляді вибоїн в зоні тріщин.

Довговічність загерметизованих тріщин в асфальтобетонних шарах покриття дорожнього одягу суттєво залежить від матеріалознавчих, конструкторських та технологічних аспектів, сукупно реалізованих в технології санації тріщин. Проте недостатній обсяг комплексних досліджень за цими трьома напрямками і, як наслідок, відсутність нормативно-технічних стандартів стримує повсюдне використання технології санації тріщин в асфальтобетонних шарах покриття дорожніх одягів.

Отже, актуальність роботи полягає у вирішенні важливої науково-практичної задачі, направленої на підвищення довговічності нежорстких дорожніх одягів шляхом санації тріщин в асфальтобетонному покритті бітумно-полімерними герметизуючими матеріалами з підвищеною теплостійкістю, холодостійкістю та міцністю зчеплення з асфальтобетонною

поверхнею в зоні тріщини, а також використання раціональних конструкторсько-технологічних рішень під час їхньої санації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до 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) та згідно з тематикою науково-дослідних робіт Харківського національного автомобільно-дорожнього університету та планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України у рамках виконання науково-дослідних робіт по темах № 162/35-93-12 «Провести дослідження та розробити рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів» (державний реєстраційний № 0112U006524), № 13/35-38-14 «Переглянути ДСТУ Б В.2.7-136:2016 «Матеріали для заливки швів і тріщин покриттів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги» (державний реєстраційний № 0114U004633), № 35-03-17 «Дослідження рецептур бітумних мастик для герметизації тріщин дорожніх покриттів, з урахуванням особливостей температурних умов застосування та технологій їх приготування» (державний реєстраційний № 0117U005851), № 36/35-16-17 «Провести дослідження та розробити національний стандарт з герметизації тріщин в покритті нежорсткого дорожнього одягу» (державний реєстраційний № 0117U003618).

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає в підвищенні довговічності нежорстких дорожніх одягів санацією тріщин в асфальтобетонному покритті на основі встановлення закономірностей впливу

складників герметизуючих матеріалів на їх теплостійкість, холодостійкість та міцність зчеплення з поверхнею асфальтобетону в тріщині.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження вирішували такі задачі:

1. Провести аналіз сучасних уявлень про вплив зовнішніх факторів на процеси тріщиноутворення в асфальтобетонних покриттях; склад, структуру бітумних герметиків і мастик та її вплив на властивості; визначити критерії та методи оцінки довговічності герметизуючих матеріалів; теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити особливості процесів структуроутворення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів на границі контакту з асфальтобетонним покриттям в зоні тріщини та їх вплив на формування міцних адгезійних зв'язків.

2. Експериментально дослідити вплив вмісту різних за функціональним призначенням складників бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів на основі окислених нафтових дорожніх бітумів на їхні властивості.

3. Розробити методику для оцінювання міцності зчеплення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини для випробувань у польових та лабораторних умовах.

4. Дослідити вплив технологічних режимів санації тріщин на міцність зчеплення між бітумно-полімерними герметизуючими матеріалами різного складу та асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини.

5. Здійснити дослідно-виробничу перевірку та впровадження результатів досліджень в дорожніх організаціях при експлуатаційному утриманні автомобільних доріг та розробити рекомендації щодо герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів бітумно-полімерними герметизуючими матеріалами підвищеної холодостійкості.

Об'єкт дослідження. Технологія санації тріщин в асфальтобетонному покритті дорожніх одягів.

Предмет дослідження. Вплив складу бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування та температурних чинників на міцність зчеплення з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі задач використані стандартні методи та прилади щодо визначення фізико-механічних властивостей герметизуючих матеріалів на основі нафтових дорожніх окислених бітумів, а також натурні методи дослідження стану асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг. Для поглиблених досліджень розроблено методику визначення міцності зчеплення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини. Обробка експериментальних даних виконана статистичними методами з використанням ПЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів:

- дістали подальшого розвитку теоретичні і експериментальні дослідження закономірностей формування структури, її впливу на властивості термопластичних бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів на основі окислених нафтових дорожніх бітумів та формування адгезійних зв'язків між ними та поверхнею асфальтобетону в тріщині;

- вперше встановлено закономірності комплексного впливу вмісту та марки окисленого нафтового дорожнього бітуму, кількості модифікуючих добавок полімерів, пластифікатора та різних за генезисом наповнювачів на показники властивостей бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів. Показано, що інтенсивність зменшення дуктильності, еластичності та холодостійкості герметизуючих матеріалів більшою мірою зростає при збільшенні у їх складі вмісту мінеральних наповнювачів ніж дрібнодисперсної гумової крихти;

- вперше розроблено методику оцінювання міцності зчеплення термопластичних бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів з

поверхнею асфальтобетону в тріщині та досліджено закономірності впливу температурних режимів об'єднання термопластичних герметизуючих матеріалів із субстратом на адгезійну міцність;

- встановлено, що на формування міцних адгезійних зв'язків між бітумно-полімерним герметизуючим матеріалом та поверхнею асфальтобетону в зоні тріщини одночасно впливає підвищення температури асфальтобетонного покриття при виконанні робіт з герметизації тріщин та зменшення концентрації наповнювача в мастичному герметизуючому матеріалі.

Практичне значення одержаних результатів:

- результати досліджень були використані при розробці нормативного документу ДСТУ Б В.2.7-136:2016 «Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги», ДСТУ 8873:2019 «Автомобільні дороги. Настанова з герметизації тріщин», а також рекомендацій Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», що увійшли у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України;

- здійснено впровадження результатів експериментальних досліджень у виробничих умовах при поточному ремонті дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-03 «Київ-Харків-Довжанський» у межах Харківської області, М-07 «Київ-Ковель-Ягодин» у межах Волинської та Рівненської областей, М-02 «Кіпті-Глухів-Бачівськ» у межах Сумської області та інших. Загальна протяжність загерметизованих тріщин за період з 2014 по 2020 роки складає 548 710,70 пог. м;

- результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті у лекційних курсах «Експлуатація автомобільних доріг», «Інноваційні

технології експлуатації автомобільних доріг», а також у дипломне проектування для студентів, що навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Особистий внесок здобувача. Наведені у дисертаційній роботі результати досліджень отримані автором особисто або за його безпосередньою участю. В опублікованих працях здобувачу належать: порівняльні експериментальні дослідження властивостей герметизуючих матеріалів вітчизняного та закордонного виробництва; визначення впливу вмісту та марки бітуму на властивості герметизуючих матеріалів; експериментальні дослідження впливу пластифікатора на властивості бітумно-полімерних композицій; експериментальні дослідження впливу мінеральних наповнювачів різного генезису на властивості бітумно-полімерних мастик; дослідження впливу модифікації бітумів полімером класу термоеластопластів та катіонним латексом на властивості герметизуючих матеріалів; дослідження впливу старіння герметизуючих матеріалів на їх властивості; дослідження впливу температури поверхні асфальтобетонного покриття в зоні тріщини на міцність зчеплення з нею герметизуючих матеріалів; дослідження показників холодостійкості та теплостійкості бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів різного складу.

Апробація результатів дисертації. Основні положення експериментальних досліджень доповідались та обговорювались на: IX міжнародній промисловій конференції (Славське, 2009); X Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве» (Харків, 2012); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг» (Харків, 2013); XI Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве» (Харків, 2014); Міжнародній науково-практичній конференції,

присвяченій 85-річчю заснування ХНАДУ «Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті» (Харків, 2015); 6th European Transport Research Conference (Польща, Варшава, 2016); Всеукраїнській науково-практичній Інтернет-конференції «Будівництво та експлуатація об'єктів транспортної інфраструктури» (Харків, 2018); I Міжнародній науково-технічній конференції «Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації» (Харків, 2019); щорічних науково-методичних конференціях викладачів та наукових співробітників ХНАДУ (2012-2020 рр.).

Публікації. Основні результати наукових досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані у 16 друкованих роботах, із них: 5 наукових статей у фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (із них 1 стаття у закордонному виданні, яке включено до наукометричної бази Scopus); 7 праць апробаційного характеру у збірниках наукових конференцій; 3 праці, які додатково відображають наукові результати дисертації; 1 патент.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, бібліографії зі 140 найменувань та трьох додатків. Повний обсяг роботи складає 190 сторінок, у тому числі 136 сторінок основного тексту. Текст ілюстрований 44 рисунками та містить 44 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні типи тріщин та фактори, що впливають на їх утворення в асфальтобетонному покритті дорожніх одягів

Тріщини відносяться до поширеного виду руйнувань, який спостерігається у асфальтобетонних шарах дорожнього одягу автомобільних доріг. Наявність тріщин в асфальтобетонних шарах сприяє проникненню та накопиченню вологи в нижче розташованих шарах дорожньої конструкції, що є причиною її передчасного руйнування [1-4].

Дослідженням впливу різних факторів на тріщиноутворення у асфальтобетонних шарах дорожніх одягів, підвищенню їх тріщиностійкості та розробці нових матеріалів для герметизації тріщин присвячені роботи Веренька В.А., Гамеляка І.П., Жданюка В.К., Кирюхіна Г.Н., Кисіної А.М., Лисенка В.І., Михайличенка М.М., Мозгового В.В., Онищенка А.М., Розенталя Д.А., Савенка В.Я., Смірнова Е.М., Сідуна Ю.В., Солодкого С.Й., Стабникова Н.В., Airey G., Al-Khalid H., Al-Quadil., Bahia H.U., Crispino M., De Bondt A.H., Fromm H.J., Isacsson U., Jaskula P., Judycki J., Khasibati K., Masson J.F., Mieczkowski P., Molenaar A.A., Partl M., Pszczola M., Sebaaly P.E., Sybilski D., Yildirim Y., Zeng H., Zofka A. та інших.

Існує твердження, що збудувати нежорсткий дорожній одяг з асфальтобетонним шаром покриття, у якому не будуть утворюватися тріщини протягом його строку служби, фактично неможливо [1]. Головними причинами утворення тріщин у асфальтобетонному покритті є температурні деформації та втома від багаторазових навантажень під час руху транспортних засобів [1, 6].

За основними причинами утворення тріщини поділяють на температурні, втомні та відображені [1-24].

Згідно з [16] температурні тріщини (рис. 1.1) утворюються, коли напруження температурного стиску перевищує міцність асфальтобетону при розтягу. На початковому етапі ці тріщини часто розташовуються з інтервалом близько 12 метрів. Коли в асфальтобетонному шарі покриття бітумне в'язуче старіє та стає твердішим, цей інтервал скорочується. Коли інтервал між тріщинами стає близьким до ширини проїзної частини дороги, починають з'являтися поздовжні тріщини та з'єднувати між собою існуючі поперечні тріщини. В роботі [15] температурні тріщини ділять на великі температурні тріщини (major thermal cracks), малі температурні тріщини (minor thermal cracks) та сітку температурних тріщин (map thermal cracks). На думку дослідників [4] температурні тріщини слід ділити на низькотемпературні термічні тріщини (low-temperature thermal cracking), які утворюються при різкому зниженні температури, та температурні втомні тріщини (thermal fatigue cracking), які утворюються тоді, коли мають місце добові циклічні зміни температури, але абсолютна величина температури ніколи не досягає величини, яка характерна для низькотемпературних термічних тріщин.



Рисунок 1.1 – Поперечна температурна тріщина

Згідно з [16] існує два головних підходи до пояснення явища утворення температурних тріщин: макро- та мікропідходи. Згідно з макropідходом

порівнюють найбільші напруження та міцності. Мікро підхід базується на врахуванні концентраторів напружень через застосування механіки руйнування. За даними [4], низькотемпературне тріщиноутворення відбувається тоді, коли температура різко знижується нижче від мінус 16 °С до мінус 35 °С. В результаті цього напруження термічного стиску перевищує міцність на розтяг асфальтобетону, і виникає тріщина. Температурні втомні тріщини спостерігаються у регіонах де не так холодно, і утворюються під впливом добових циклічних змін температури. Температурне тріщиноутворення потребує достатнього падіння температури (як за величиною, так і за швидкістю) для активації або, пізніше, повторної активації процесу утворення тріщин.

Автори [21] використали підхід механіки руйнування для дослідження механізму утворення температурних тріщин. Вони встановили, що бітумні в'язучі є ключовим фактором для утворення температурних тріщин. Асфальтобетонні шари дорожнього одягу мають пори, які працюють як концентратори напружень. Внаслідок різниці термічного стиску на границі контакту бітум/заповнювач утворюються мікротріщини. Завдяки великій різниці коефіцієнтів термічного розширення бітумне в'язуче та заповнювачі будуть стискатися по різному у відповідь на певну зміну температури. Різні температурні мікротріщини утворюють локалізовані зони концентрації напружень та виникають у місцях або біля ділянок розривів. Результируюче напруження спричиняє передчасне руйнування бітумного в'язучого. Базуючись на положеннях теорії механіки руйнування, саме інтенсивність розсіювання енергії (енергія руйнування) контролює вид руйнування від зародження тріщини до її розростання.

Трьома домінуючими факторами, що впливають на утворення температурних тріщин, є температура, коефіцієнт термічного розширення і швидкість зниження температури [4,12]. Іншими важливими факторами, які впливають на температурне тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах, є

геометричні параметри конструкції (товщина шарів тощо); конкретні польові умови; ступінь ущільнення асфальтобетонної суміші, щільність та залишкова пористість асфальтобетону. Різні товщини того самого матеріалу будуть мати різні темпи охолодження та нагрівання.

Характерною рисою температурних тріщин є їх розповсюдження згори вниз.

Згідно з [26] втомні або алігаторні тріщини (рис. 1.2) є серією близько розташованих взаємопов'язаних тріщин, які утворюють малюнок, схожий на шкіру алігатора. Ця сітка тріщин в асфальтобетонних шарах з дрібними вічками розміром сторін 10-20 см зазвичай утворюється на смугах накату у тонких шарах покриття і є результатом багаторазових транспортних навантажень або значних за величиною прогинів, викликаних перезволоженням шарів основи або робочого шару земляного полотна, особливо на ділянках відтавання перезволоженого ґрунту у весняний період і у період здимань.

Розвиваються такі тріщини знизу вгору (від підшви до поверхні покриття). Втомні тріщини є зазвичай ознакою втрати несної здатності конструкції дорожнього одягу.



Рисунок 1.2 – Втомні тріщини [26]

Виділяють [27] також блочні тріщини (рис. 1.3) в асфальтобетонних шарах покриття дорожнього одягу. Ці тріщини є взаємоз'єднаними і

утворюють прямокутні блоки. Блочні тріщини відрізняються від втомних тріщин тим, що втомні тріщини утворюють менші, багатогранні шматки, які мають гострі кути. Причиною утворення блочних тріщин є, головним чином, напруження температурного стиску, які перевищують міцність при розтягу асфальтобетону, у якому бітумне в'язуче набуло крихкого стану завдяки старінню протягом тривалого періоду експлуатації.



Рисунок 1.3 – Блочні тріщини [27]

Відображені тріщини (рис. 1.4) копіюють деформаційні шви або тріщини в монолітних шарах основи дорожнього одягу і є найбільш характерними для асфальтобетонних покриттів [27].



Рисунок 1.4 – Відображені тріщини [27]

За розташуванням на поверхні асфальтобетонного покриття тріщини поділять на поперечні (рис. 1.1), поздовжні (рис. 1.5) та діагональні.



Рисунок 1.5 – Поздовжні тріщини

Поздовжні та поперечні тріщини, що розташовані на відстані більше 4 м одна від одної, вважаються одиночними [23].

Поперечні тріщини розташовуються поперек покриття приблизно перпендикулярно вісі дороги або напрямку влаштування шарів дорожнього одягу. Ці тріщини у більшості випадків утворюються внаслідок дії температурних напружень і зазвичай не пов'язані з дією навантажень від транспортних засобів. Поперечні тріщини загалом простягаються на всю ширину асфальтобетонного покриття з інтервалом приблизно 6 м. Поперечні тріщини вважаються «робочими» тріщинами із переміщенням більше 3 мм і типово першими тріщинами, які з'являються протягом орієнтовно 2-3 років на більшості нових покриттів та протягом 1-2 років на покриттях із шарами посилення.

В роботах [23, 24] в залежності від ширини розкриття тріщини поділяють на «робочі» (активні) та «неробочі» (неактивні). Згідно з [23] до «робочих» тріщин відносяться тріщини з шириною розкриття 2 мм та більше, а до «неробочих» — з шириною розкриття менше 2 мм. Поперечні та діагональні тріщини, розташовані на відстані більше 8 м одна від одної,

зазвичай, є «робочими». Поздовжні та близько розташовані одна до одної поперечні тріщини зазвичай відносяться до «неробочих». При цьому, згідно з [24, 25] оперативно визначити, чи відноситься дана тріщина до «робочої» (тобто, рухається в результаті скорочення та розширення шарів дорожнього одягу), достатньо складно.

Поздовжні тріщини виникають паралельно вісі покриття або напрямку його влаштування і є спричиненими термічним переміщенням або неякісно влаштованими будівельними стиками між смугами руху або між смугою руху та узбіччям. Поздовжні тріщини зазвичай вважаються такими, що мають мале переміщення (менше 3 мм) і вважаються «неробочими».

Класифікують тріщини також за напрямком їх проростання по вертикалі (товщині шару) – тріщини, що зароджуються біля підшви шару та тріщини, що беруть свій початок з поверхні шару. До першого типу тріщин найчастіше відносять втомні тріщини, про які йшлося вище. Другому типу тріщиноутворення присвячені роботи значної кількості науковців [3, 5-7, 10, 11, 14, 17-19, 20, 22].

Тріщиноутворення «згори вниз» (top-down cracking) може виникати як на смугах накату [14], так і за їх межами [17]. Вік їх виникнення становить 1-5 років у Японії, 3-5 років у Франції, 3-8 років у штаті Вашингтон, 5-10 років у штаті Флорида (США) та 10 років у Великобританії [14, 19, 22].

Згідно з [17] зародження та проростання тріщин «згори вниз» проходить у три етапи. На першому етапі виникає одиночна коротка поздовжня тріщина безпосередньо за смугою накату. З часом паралельно цій тріщині з'являються аналогічні тріщини на відстані 0,3-1,0 м від неї. Пізніше процес переходить до третього етапу, коли паралельні тріщини з'єднуються короткими поперечними тріщинами.

Досліджуючи процеси тріщиноутворення науковці стверджують [19], що високі контактні напруження розтягу, які виникають на поверхні асфальтобетонного шару покриття поблизу країв шини (рис. 1.6), викликають

появу та проростання «згори вниз» коротких тріщин. До старіння бітумного в'язучого в асфальтобетоні, деякі із цих коротких тріщин можуть зникати за рахунок ефекту заліковування бітуму під впливом шин транспортних засобів, доки жорсткість асфальтобетону є низькою при високих температурах. Одночасно в роботі [6] стверджується, що розповсюдження поверхневої тріщини відбувається головним чином за рахунок зсувних напружень, що виникають у покритті.

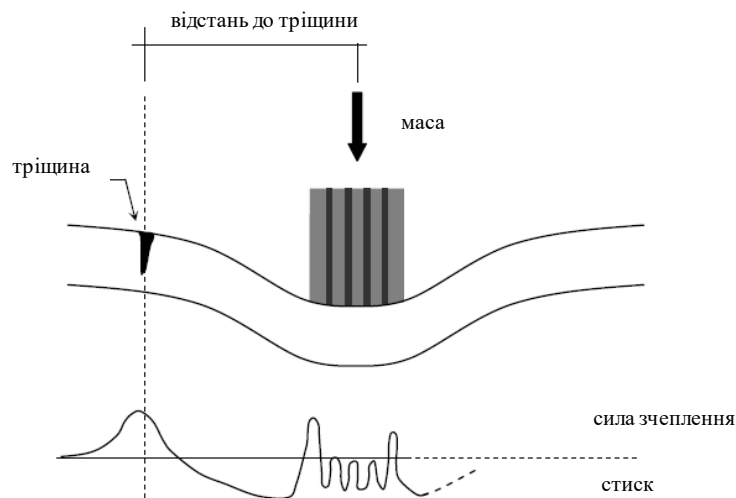


Рисунок 1.6 – Прогин конструкції нежорсткого дорожнього одягу від маси транспортних засобів та результуючих напружень [19]

В роботі [3] стверджується, що тільки комбінація високої енергії розсіювання на поверхні шару покриття, зсувні напруження, температурні напруження та залишкові напруження можуть спричиняти утворення тріщин «згори вниз». За даними [11] швидкість проростання тріщин залежить від ступеню старіння бітуму у складі асфальтобетону, на який впливає висока температура навколишнього середовища, висока пористість асфальтобетону та низький вміст в'язучого в його складі. Відмічається також, що низька температура та висока щоденна амплітуда коливань температури сприяють збільшенню швидкості проростання тріщини по товщині шару.

Пізнішими дослідженнями [5, 17, 20, 22, 17] встановлено, що якість будівництва (сегрегація асфальтобетонної суміші, особливості її укладання та ущільнення) також мають значний вплив на імовірність утворення тріщин «згори вниз».

В роботі [18] кількісно продемонстровано, що температурні напруження більше впливають на процес тріщиноутворення в товстих асфальтобетонних шарах дорожнього одягу в діапазоні температур від мінус 20 °С до 40 °С ніж напруження, що виникають від впливу транспортних засобів.

В роботі [17] теж відмічається, що утворення тріщин «згори вниз» викликане високими напруженнями розтягу від транспортних навантажень, градієнту температури, старіння в'язучого та якості будівництва (якість матеріалу покриття та ступінь ущільнення).

Багато із вище вказаних причин утворення тріщин досліджувалися у роботах [5, 7, 18, 19, 22]. Проводився аналіз таких факторів як відносна жорсткість, ступінь ущільнення та температурні напруження, а також геометричні параметри дорожнього одягу як фактор, який впливає на форму тріщин та вид сітки тріщин. Тріщини, що беруть початок на поверхні покриття, можна розділяти за місцем розташування, глибиною, напрямком та швидкістю проростання. Вони можуть бути поздовжніми, поперечними, косими, зіркоподібними, блочними або навіть алігаторними і можуть розташовуватися або на смузі накату, або за її межами [5]. Глибина таких тріщин може становити від кількох міліметрів до всієї товщини шару [19, 22]. Теоретично, прогресування таких тріщин зупиняється на глибині 15 см [18] для дорожніх одягів із товщиною асфальтобетонних шарів 19 см. Однак глибші тріщини (19 см) були виявлені у дорожніх одягах з більшою загальною товщиною асфальтобетонних шарів [5].

Для не глибоких тріщин їх проростання у глибину обумовлене виключно напруженнями розтягу. При середній глибині тріщини, напрямком її

проростання може змінитись, оскільки напружено-деформований стан асфальтобетонного шару із глибиною теж змінюється [19]. Швидкість проростання по товщині шару залежить від початкової довжини тріщини, товщини асфальтобетонного шару та зернового складу мінеральної частини асфальтобетону. Швидкість проростання тріщини в глибину зростає зі збільшенням її довжини, товщини асфальтобетонного шару [20] та зі збільшенням крупності зерен щебню у його складі [10].

Згідно з [23] за шириною розкриття тріщини ділять на вузькі до 5 мм, середні – 5-10 мм та широкі – 10-30 мм. Ширина розкриття залежить від градієнта температури і відстані між тріщинами.

1.2 Наявні дані про склад та властивості матеріалів для герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожніх одягів

Для герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу застосовують різноманітні матеріали (герметики та мастики) як холодного, так і гарячого застосування, тобто у холодному або гарячому стані. Герметики за складом відрізняються від мастик відсутністю наповнювача.

Згідно з [28-31] матеріали для герметизації тріщин, кожен із яких має свої особливі характеристики, розділяють на три основні групи:

- 1) Термопластичні матеріали холодного застосування:
 - бітумні емульсії або рідкі бітуми;
 - рідкі бітуми, модифіковані полімерами.
- 2) Термопластичні матеріали гарячого застосування:
 - бітумний в'язучий матеріал;
 - бітумний в'язучий матеріал з мінеральним наповнювачем;
 - бітумний в'язучий матеріал, модифікований полімером.

3) Термореактивні матеріали:

- силіконові, епоксидні, поліуретанові, метилметакрилат.

У 50-х роках для герметизації та гідроізоляції різних будівельних споруд застосовувалися матеріали на основі нафтових бітумів [32]. Для цих цілей в основному використовували бітум нафтовий будівельний марки БН 70/30 та покрівельні бітуми марок БНК 45/190 та БНК 90/30, а також суміші бітумів різних марок [33-42]. Однак як будівельні, так і покрівельні бітуми та бітумні мастики на їх основі характеризуються низькою деформативністю навіть при позитивних температурах [43-45]. Окрім того, мастики на основі будівельного бітуму характеризуються високою температурою крихкості, в результаті чого вони розтріскуються при незначних деформаціях вже при кімнатній температурі. У зв'язку з цим сфера застосування таких матеріалів стала обмежуватись покрівлями та підземними спорудами, які не сприймають вплив динамічного навантаження від транспортних засобів, на відміну від асфальтобетонних покриттів з тріщинами.

Значно вищою довговічністю характеризуються полімерні герметизуючі матеріали [46, 47]. Згідно з [48] полімерні герметизуючі матеріали є більш довговічними, порівняно з бітумними герметизуючими матеріалами. Не дивлячись на високі експлуатаційні властивості, головною причиною того, що полімерні матеріали не отримують широкого застосування для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг, є їх висока вартість.

У зв'язку з тим, що експлуатаційні характеристики герметизуючих матеріалів в основному визначаються властивостями матричного бітумного компоненту, широке розповсюдження отримав напрямок підвищення саме його довговічності. Цьому напрямку присвячена значна кількість робіт українських та закордонних вчених [33, 38, 41-44, 49-76]. На основі аналізу літературних джерел з усіх існуючих способів підвищення якості бітумних

герметизуючих матеріалів можна виділити наповнення бітуму як матриці дрібнодисперсними мінеральними наповнювачами, модифікація бітумів полімерами, введення до складу бітумних композицій пластифікаторів та армування герметизуючих матеріалів фібро волокнами.

Одним із найпростіших способів регулювання показників фізико-механічних властивостей герметизуючих матеріалів на основі нафтових бітумів є спосіб, який полягає у наповненні їх мінеральними наповнювачами (порошковими, волокнистими або комбінованими) [43, 52, 53, 77-79]. Для приготування бітумних герметизуючих матеріалів в різні періоди застосовували наступні дрібнодисперсні порошкові наповнювачі: вапняковий, доломітовий, цегляний та андезитовий мінеральні порошки, доломітове борошно, каолін, тальк, талько магнезит, крейда, молотий пісок, природний маршаліт, зола ТЕС, цемент. У якості волокнистих наповнювачів відоме використання азбесту, шлаковати, базальтових або термостійких полімерних фіброволокон [33, 34, 38, 40, 41, 43, 52, 54, 79-84, 100, 102].

Введення у бітум дрібнодисперсних порошкових наповнювачів дозволяє підвищити його теплостійкість. Встановлено [53], що введення у нафтовий будівельний бітум до 20 % дрібнодисперсного мінерального наповнювача забезпечує підвищення його температуру розм'якшення на 5 °С, а 35-40 % – на 7-8 °С. Згідно з [52] наповнені нафтові бітуми мають вище значення температури крихкості та вищу теплостійкість і міцність, порівняно з ненаповненими. Завдяки введенню наповнювачів відбувається зменшення усадки та повзучості, покращення фізико-механічних властивостей бітумної композиції, а також зниження вартості матеріалу завдяки збільшенню об'єму матеріалу. Однак одним із недоліків наповнених бітумних мастик є те, що вони характеризуються низькою деформативною здатністю і величиною адгезії [78], та підвищеним водопоглинанням.

Згідно з [52] мінеральні наповнювачі, які використовують

для виготовлення мастик, повинні характеризуватися хімічною інертністю, міцністю, нерозчинністю у воді та бути негігроскопічними.

До 90-х років для виготовлення герметизуючих матеріалів у якості мінерального волокнистого наповнювача широко застосовували азбестове волокно. При введенні до бітуму азбесту, одночасно з підвищенням його теплостійкості, відбувається підвищення водопоглинання в умовах знакозмінних температур, порівняно з вихідним бітумом без наповнювача. Проте у зв'язку із шкідливістю для організму людини азбест [52] є забороненим для використання у якості наповнювача при виготовленні мастик [85].

З метою підвищення здатності бітумних мастик деформуватись при низьких експлуатаційних температурах до їх складу додають пластифікатори [34, 36, 38, 43, 81, 86-92]. Відоме застосування у якості пластифікаторів індустриальної, сланцевої, солярної оливи, дибутилфталату, кубових залишків ректифікації стиролу, мазуту, вакуумного газойлю, гудрону, малов'язких бітумів. У роботі [93] стверджується, що застосування мінеральних оливи у якості пластифікаторів є малоефективним, оскільки викликає різке зменшення теплостійкості мастик. Однак введення до складу нафтових бітумів індустриальної оливи позитивно сприяє зниженню температури крихкості бітуму [94].

Модифікація бітумних в'язучих матеріалів різними полімерними добавками сприяє підвищенню їх теплостійкості, морозостійкості, еластичності, водонепроникності та стійкості до старіння [55, 77, 95], а також дозволяє регулювати технологічні та експлуатаційні властивості герметизуючих матеріалів на їх основі. У якості модифікуючих добавок використовуються матеріали, які переважно є основними продуктами полімерної промисловості [96]. Серед них найбільшого розповсюдження отримали такі матеріали як атактичний поліпропілен (АПП), стирол-бутадієн-стирол (СБС), етилен-пропіленові каучуки, бутилкаучуки,

поліетилену, сополімери етилену з пропіленом, етиленвінілацетат (ЕВА), етиленметилакрилат (ЕМА), етиленбутилакрилат (ЕБА), дивінілстирольний термоеластопласт (ДСТ), латекси (СКС-30, СКД-1, СКЕП), поліізобутилен, полістирол [33, 56, 77, 80, 93, 97-99].

На початку 60-х років для підвищення теплостійкості нафтових бітумів почали використовувати полімер класу термопластів – атактичний поліпропілен (АПП). Однак бітумно-полімерні матеріали, модифіковані АПП, характеризуються нижчою деформативністю та еластичністю, порівняно з матеріалами на основі бітумних в'язучих, модифікованих стирол-бутадієн-стиролом, які почали застосовувати пізніше. Полімери класу термоеластопластів, до яких відноситься стирол-бутадієн-стирол, характеризуються здатністю поєднувати високу міцність термопластичних полімерів та еластичність гуми [105]. В цей же період на ряду із використанням бітумно-полімерних композицій на основі покрівельних та будівельних бітумів для виготовлення гідроізоляційних матеріалів почали застосовуватись нафтові дорожні бітуми марок БНД 40/60 та БНД 60/90 [77, 78].

Введення у бітум поліетилену або етилен-пропіленового каучуку викликає зростання величини температури крихкості композиції, порівняно з полімерами типу стирол-бутадієн-стирол [101]. Бітумно-полімерні композиції на основі цих полімерів можуть застосовуватися тільки у спорудах, які не сприймають вплив динамічного навантаження, що пов'язано з недостатньою їх деформативною здатністю.

Введення у нафтовий будівельний бітум марки БН 70/30 гумової крихти у кількості 12-15 % дозволяє отримати бітумно-полімерні композиції з температурою розм'якшення 85-95 °С та температурою крихкості до мінус 10 °С [93]. За даними [106] така концентрація гумової крихти у складі мастики на основі будівельного бітуму еквівалентна введенню 65-70 % мінерального наповнювача. Підвищення деформативності такої бітумно-

гумової композиції можна досягти шляхом додавання у її склад певної кількості пластифікатора. Введення до складу бітумно-гумової композиції бутадієн-стирольного каучуку, попередньо розчиненого у леткому розчиннику, сприяє зниженню температури крихкості мастики до мінус 15-20 °С. Недоліками даних бітумних композицій є незначне підвищення деформативності при низьких температурах порівняно з вихідним бітумом. Іншим чинником, який ускладнює процес приготування бітумно-гумової композиції, є необхідність зниження температури перемішування компонентів, що призводить до погіршення властивостей кінцевої композиції. З іншого боку зменшення температури вимагає збільшення тривалості процесу приготування герметизуючого матеріалу в результаті уповільненого набрякання гумової крихти [78].

Згідно з [103, 104] мастики для герметизації тріщин найчастіше складаються з бітумно-полімерної композиції, що містить від 5 до 18 % полімеру типу СБС або СБ, пластифікатор від 3 до 13 %, від 5 до 50 % гумової крихти, від 10 до 20 % адгезійної добавки та мінеральний наповнювач (карбонат кальцію, зола виносу, вапно).

Аналіз літературних даних щодо зарубіжного досвіду виробництва і використання бітумно-полімерних мастик для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях свідчить про те, що в даний час найбільше застосовуються для виконання вказаних робіт знаходять мастики гарячого застосування. Серед них найбільш відомі матеріали під торгівельною маркою «Crafco», «Biguma», «Crack Master», «Resimast», «Bitoplast», «Еластик», «Bornit». Склад таких мастик і герметизуючих матеріалів є комерційною таємницею виробника. Проте можливо припустити, що їх виготовляють шляхом змішування бітуму з різними полімерними добавками, пластифікаторами і наповнювачами. Крім того, для герметизації тріщин і влаштування довговічних стиків у асфальтобетонних покриттях за кордоном використовують також мастики холодного застосування – «Vulcem» (США),

«U-Seal» (Канада). Ці мастики характеризуються високою деформативністю при низьких температурах і є достатньо довговічними. Однак вартість їх значно перевершує вартість мастик гарячого застосування. Крім того, використання герметиків холодного застосування часто стримується з наступних причин: зазвичай такі мастики двокомпонентні, а тому термін їх удобоукладальності є невеликим; їх приготування здійснюється безпосередньо на будівельному майданчику, де ускладнено точне дозування компонентів і виконання усіх умов приготування; потрібен більш тривалий термін закриття руху транспортних засобів на відремонтованих ділянках, порівняно з герметизуючими матеріалами гарячого застосування.

1.3 Особливості технології герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожніх одягів

Відновлення суцільності асфальтобетонного покриття з тріщинами має важливе практичне значення і є одним з основних резервів підвищення довговічності конструкцій нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг в цілому.

Вибір оптимальних ремонтних заходів для асфальтобетонного покриття із тріщинами залежить від характеру, виду та обсягу пошкоджень [29-31]. Класифікація ступенів пошкоджень, яку застосовують у різних країнах світу при виборі ремонтних заходів, наведена у таблицях 1.1-1.4.

Таблиця 1.1 – Класифікація ступенів пошкодження в залежності від ширини тріщини в асфальтобетонному покритті [29-31]

Країна	Ступінь пошкодження в залежності від ширини тріщини		
	Низький	Середній	Високий
США	< 6 мм	6-19 мм	> 19 мм
Канада	< 5 мм	5-20 мм	>20 мм
Італія	< 2 мм	2-10 мм	> 10 мм

Таблиця 1.2 – Класи тріщин за шириною та щільністю згідно з [108]

Тріщина	Клас	Характеристика
Ширина	Незначна	Одиночні тріщини шириною 2-12 мм
	Помірна	Одиночні або множинні тріщини шириною 13-20 мм. Тріщини шириною менше 20 мм, які мають викривлення кромки.
	Значна	Одиночні або множинні тріщини із викривленням кромки або тріщини шириною більше 20 мм. Тріщини шириною менше 20 мм, що мають викривлення кромки.
Щільність ураженості	Нерегулярні	Без певного характеру розташування тріщин. Уражено менше 20 % поверхні покриття. Поперечні тріщини на відстані 30-40 м.
	Часті	Уражено 20-50 % поверхні покриття. Поздовжні тріщини можуть бути локальними або рівномірно розподіленими на ділянці покриття. Поперечні тріщини на відстані 20-30 м.
	Множинні	Тріщини рівномірно розподілені серед більше ніж 50 % площі покриття. Поперечні тріщини на відстані 10-20 м.

Таблиця 1.3 – Основні види ремонту асфальтобетонного покриття з тріщинами [23]

Середня відстань між тріщинами, м	Види ремонту покриття в залежності від ступеня руйнування кромки тріщин, % від довжини		
	Низький (0-25)	Середній (26-50)	Високий (51-100)
1	2	3	3

Кінець таблиці 1.3

1	2	3	4
Більше 15 м	Герметизація ¹ (за необхідності)	Герметизація ¹	Ямковий ремонт
4-15 м	Герметизація ¹	Герметизація ¹	Ямковий ремонт
Сітка тріщин	Ремонт поверхні ²	Ремонт поверхні ²	Посилення
¹ Герметизація тріщин – сукупність технологічних операцій (нарізання жолоба, очищення, висушування, заливання герметика тощо), які забезпечують довготривалу роботу загерметизованих тріщин та швів у дорожніх покриттях [23]. ² Ремонт поверхні покриття включає влаштування поверхневої обробки, влаштування захисного шару і т.п.			

Таблиця 1.4 – Основні види ремонту асфальтобетонного покриття з тріщинами [28]

Лінійна довжина тріщини на 100 м ділянки покриття	Ступінь руйнування кромки, % довжини тріщини		
	Низький (ширина тріщин < 3 мм), 0-25	Середній (ширина тріщин 3-10 мм), 26-50	Високий (ширина тріщин > 10 мм), 51-100
< 10 м	Герметизація тріщини	Герметизація тріщини	Герметизація тріщини або ремонт асфальтобетонними сумішами
10-135 м	Герметизація тріщини	Герметизація тріщини	Ремонт асфальтобетонними сумішами
>135 м	Поверхнева обробка ¹	Поверхнева обробка ¹	Ремонт ²
¹ Може включати такі технології як Сларрі сіл, тонкошарові покриття, тощо. ² Може включати гарячий ресайклінг на дорозі, холодне фрезування та влаштування нового шару і шару підсилення.			

Асфальтобетонні покриття, що мають низький та середній ступінь ураженості тріщинами, придатні для герметизації, а покриття із високим ступенем тріщиноутворення підлягають ремонту у вигляді ямкового ремонту та влаштування захисного шару [28- 30, 108, 110, 115, 117, 122].

Згідно з [31] тріщини шириною до 3 мм не герметизують, а влаштовують поверхневу обробку, шириною від 3 до 25 мм – герметизують, а шириною більше 25 мм – не герметизують, а проводять ямковий ремонт. Покриття із алігаторними тріщинами, високою щільністю множинних тріщин, поганим дренажем нижнього шару покриття або із пошкодженням конструкції дорожнього одягу, не підходять для герметизації тріщин. Відмічається, що герметизація тріщин стає менш ефективною, коли їх ширина наближається до 20 мм. Якщо тріщини досягають ширини 25 мм і більше, рекомендується розглядати інші ремонтні заходи ніж герметизація.

Згідно з [28, 29, 107, 117] переміщення торцевих стінок «робочих» тріщин становить більше 2,5-3,0 мм, а подекуди й більше 6 мм. Для забезпечення довготривалої служби рекомендується попередньо (до герметизації тріщин) нарізувати жолоб в асфальтобетонному покритті (заглиблення на поверхні покриття прямокутного або квадратного перерізу, яке проходить по тріщині).

В численних публікаціях [28, 29, 110, 115, 117, 118, 120, 121] стверджується, що форма створюваного жолоба над тріщиною суттєво впливає на строк служби герметизуючого матеріалу в ньому. Попереднє створення жолоба із співвідношенням ширини до глибини рівним одиниці або більше одиниці (ширина/глибина = 1) покращує роботу герметизуючого матеріалу [23, 24, 108, 110, 112, 113]. Максимальна ширина жолоба повинна бути менше ніж 30 мм, оскільки надмірна його ширина призводить до більшого негативного впливу на герметизуючий матеріал транспортних засобів, що рухаються повільно, чим потенційно підвищується швидкість руйнування.

Надзвичайно важливо, щоб жолоб над тріщиною мав квадратну або прямокутну форму [108, 111, 114], оскільки округлене дно жолоба або V-подібна форма призводять до швидкої втрати зчеплюваності герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетону.



Рисунок 1.7 – Герметизована тріщина V-подібної форми [123]

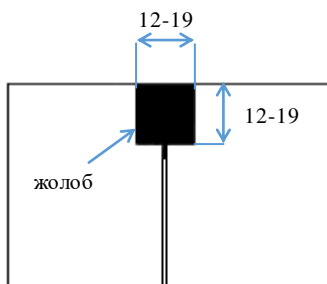
Враховуючи сезонні коливання температури та, відповідно, роботу герметизуючого матеріалу в жолобі тріщини (таблиця 1.5), виділяють [28] наступні існуючі на практиці способи герметизації тріщин (наведені на рис. 1.8).

Таблиця 1.5 – Вплив зміни пори року на «робочу» тріщину та деформування герметизуючого матеріалу у жолобі [108]

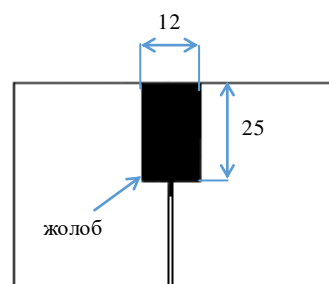
Період герметизації тріщини	Ширина тріщини		
	Зима	Весна, осінь	Літо
Зима			
Весна, осінь			
Літо			



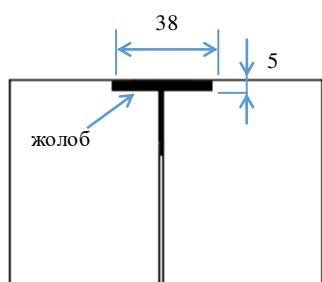
а) Заповнення врівань з поверхню покриття



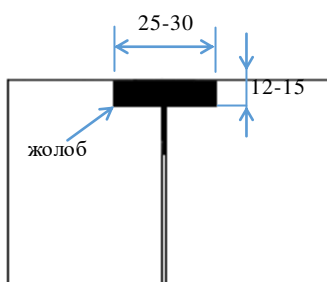
б) Заповнення стандартного жолоба врівань з поверхню покриття



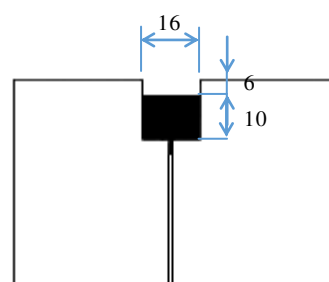
в) Заповнення глибокого жолоба врівань з поверхню покриття



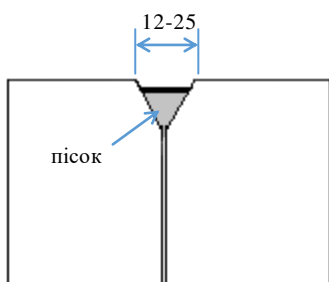
г) Заповнення неглибокого жолоба врівань з поверхню покриття



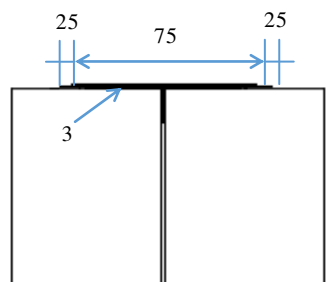
д) Заповнення жолоба врівань з поверхню покриття



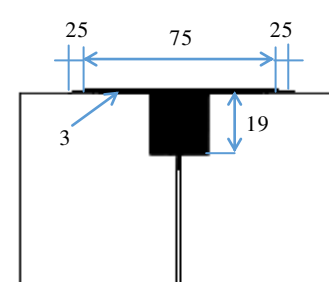
е) Заповнення стандартного жолоба нижче рівня поверхні покриття



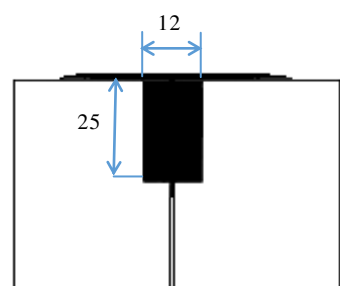
є) Заповнення «неробочої» тріщини піском із заливкою герметика нижче рівня поверхні покриття



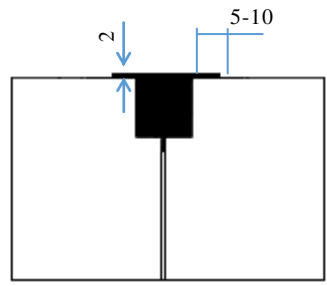
ж) Заповнення тріщини з напуском



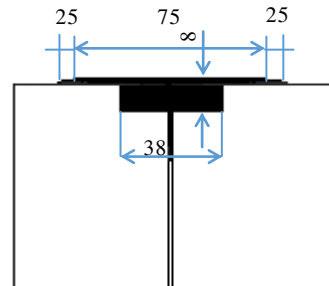
з) Заповнення стандартного жолоба з напуском



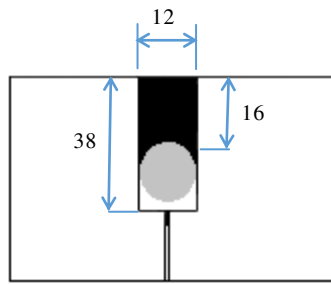
и) Заповнення глибокого жолоба з напуском



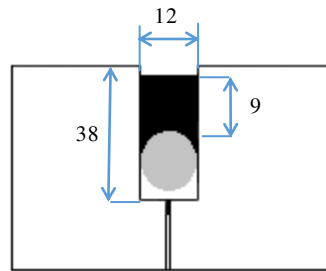
і) Заповнення стандартного жолоба з напуском



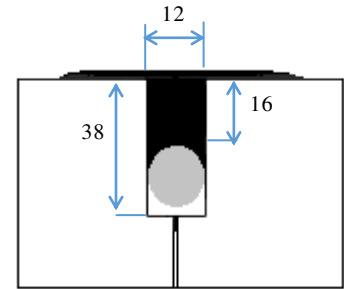
ї) Заповнення неглибокого жолоба з напуском



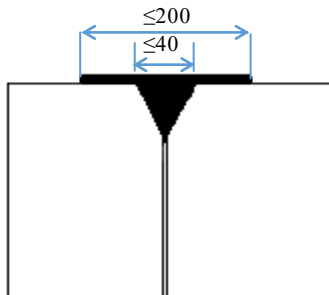
й) Заповнення глибокого жолоба врівень з поверхнею покриття з ущільнювальним шнуром



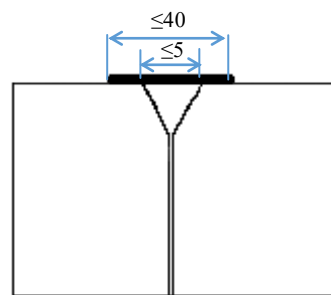
к) Заповнення глибокого жолоба нижче рівня поверхні покриття з ущільнювальним шнуром



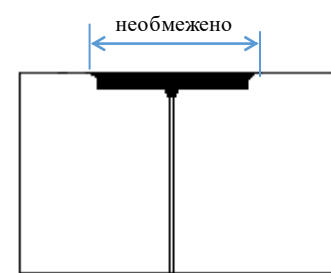
л) Заповнення глибокого жолоба з напуском з ущільнювальним шнуром



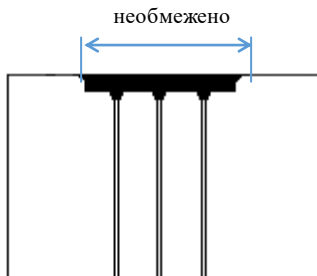
м) Заповнення «неробочої» тріщини з напуском



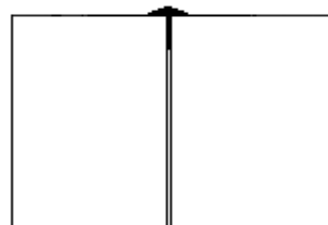
н) Поверхнева заливка з напуском (для тріщин або стиків шириною до 5 мм)



о) Заповнення врівень з поверхнею покриття для одиночної тріщини



п) Заповнення врівень з поверхнею покриття для множинних тріщин



р) Обмежений напуск

Рисунок 1.8 – Різні інженерно-технічні рішення герметизації тріщин [28]

Згідно з [28] найкращі результати показало заповнення герметизуючим матеріалом стандартного (рис. 1.12 (з)), або неглибокого (рис. 1.12 (ї)) жолоба з напуском мінімальної товщини [29, 110]. Проте в роботі [29] відмічається, що при порівнянні заповнення герметизуючим матеріалом жолоба стандартної глибини врівень з поверхнею покриття із заповненням

герметизуючим матеріалом жолоба стандартної глибини із напуском мінімальної товщини, суттєвої різниці щодо строку служби не було виявлено.

Ширина напуску на поверхню асфальтобетонного покриття з кожного боку від тріщини згідно з різними літературними джерелами коливається від 5-10 мм до близько 50-100 мм. Згідно з [110] ширину напуску слід робити не більше 50 мм. Широкі напуски можуть призводити до пошкодження в результаті надмірного контакту з шинами транспортних засобів, що рухаються повільно. Також занадто товста плівка герметизуючого матеріалу в зоні напуску може призводити до пошкодження снігоприбиральною технікою, тому зазвичай рекомендується, щоб плівка герметика на поверхні покриття становила 2-3 мм, а іноді 1,0-1,5 мм [110, 119].

Що стосується питання, створювати чи не створювати жолоб над тріщиною перед її заливкою герметизуючим матеріалом, то переважна більшість дослідників схильні вважати, що герметизація тріщин з жолобом забезпечує більшу довговічність. Згідно з [115] тріщини заповнюють герметизуючим матеріалом врівень з поверхнею покриття, а іноді й нижче рівня покриття (на 6 мм), якщо протягом 6 місяців після герметизації тріщин передбачається влаштування асфальтобетонного шару. При прийнятті рішення про герметизацію тріщини без жолоба з напуском на поверхню покриття рекомендується, щоб ширина та товщина напуску були мінімальними, а ширина тріщини була не більше 5 мм [118,120]. Згідно з [110] над тріщинами шириною 5-20 мм рекомендується нарізати жолоб перед їх герметизацією. Інші дослідники [28] рекомендують не створювати жолоб над тріщинами шириною більше 19 мм, а над тріщинами шириною від 3 до 12 мм в шарах асфальтобетонного покриття віком до 5 років створювати жолоб перед герметизацією. За результатами моніторингу встановлено, що тріщини, загерметизовані без нарізаного жолоба з напуском на поверхню асфальтобетонного покриття, мають строк служби від 1 до 3 років [29]. Тонкі тріщини шириною до 2 мм рекомендується заливати бітумною емульсією без

нарізання жолоба [121]. В роботі [110] відмічається, що при герметизації тріщин врівень з поверхнею асфальтобетонного покриття, рівень герметизуючого матеріалу не повинен бути нижче рівня поверхні покриття більше ніж на 3 мм.

Герметизацію без нарізання жолоба зазвичай виконують для «неробочих» тріщин, які мають мале, або жодного, переміщення. Зазвичай такі тріщини мають ширину менше 2,5-3,0 мм [28, 29].

Оскільки «робочі» тріщини розкриваються та закриваються в залежності від температури повітря, рекомендується їх герметизувати при помірних температурах у діапазоні 7-20 °C [31]. У такому діапазоні температур повітря «робоча» тріщина є частково розкритою, тому герметизуючий матеріал не буде сприймати надмірні напруження при розтягу або стиску під дією температур та при горизонтальних і вертикальних переміщеннях кромek. Герметизуючи тріщини, коли температура асфальтобетонного покриття є середньою, відрив герметизуючого матеріалу від поверхні є менш імовірними. Аналогічні температури можуть спостерігатися навесні, але в цей час покриття є перезволоженим. Проте, якщо покриття не є вологим, така робота може виконуватися наприкінці весни після повного висихання шарів основи.

Згідно з [110, 117] перед заповненням герметизуючим матеріалом тріщин обов'язковими технологічними операціями є очищення та висушування тріщин, а також створеного над тріщинами жолоба. Для цього пропонується застосовувати наступні способи:

- 1) Видалення пилу, уламків та фрагментів асфальтобетону із тріщини за допомогою повітряних компресорів високого тиску. Для досягнення найкращого результату потрібний тиск повітря не менше 621 кПа на 1 сопло [115], 670 кПа та струмінь повітря 0,07 м³/с [117], а згідно з [111] не менше 700 кПа при мінімальному об'ємі повітря 4,25 м³/хв;

- 2) Продувка гарячим повітрям з температурою близько 80 °С [116]. При цьому згідно з [119] рекомендується цю технологічну операцію виконувати під тиском 0,4-0,6 МПа, температурі 150-250 °С та витраті повітря 2,5-4,0 м³/хв, згідно з [121] під тиском 650 кПа та при температурі до 300 °С, згідно з [111] при температурі повітря близько 500 °С та його швидкості мінімум 1000 м/с. Важливо не перегрівати тріщину. Перегрів може призводити до того, що покриття стає крихким і відбувається передчасна втрата адгезії.
- 3) Очищення металевими щітками (менше ефективна ніж продування повітря).

Для підвищення адгезії герметизуючого матеріалу до стінок тріщини рекомендується здійснювати їх підґрунтовку [119, 121].

Вибір герметика є надзвичайно важливим етапом в технології герметизації тріщин [109]. Герметизуючі матеріали, які застосовують у гарячому стані, є термопластичними матеріалами на основі бітуму. Температурний діапазон використання таких герметизуючих матеріалів становить 175-200 °С. Властивості герметизуючого матеріалу, які можна враховувати при його виборі, включають тривалість підготовки до використання, технологічність, час затвердіння (структурування), адгезійні і когезійні якості, гнучкість та еластичність при низьких температурах, теоретичні передумови досліджень., абразивні властивості, розм'якшення та текучість. Різні обставини вимагають різні характеристики матеріалу для забезпечення максимального строку служби загерметизованих тріщин.

1.4 Висновки по розділу. Мета і задачі дослідження

Узагальнення результатів аналізу літературних джерел щодо процесів тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах дорожніх одягів, а також технологій герметизації наявних в асфальтобетонному покритті тріщин із

використанням бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів, з урахуванням результатів моніторингу існуючого стану асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг державного та місцевого значення дозволяє зробити наступні висновки:

1. Протягом експлуатаційного періоду в асфальтобетонному шарі покриття дорожніх одягів автомобільних доріг та вулиць, під впливом транспортних навантажень і агресивних зовнішніх природних чинників, на різних етапах життєвого циклу виникають різні види деформацій, пошкоджень і руйнувань, які суттєво знижують міжремонтні строки служби як шару покриття, так і усєї конструкції дорожнього одягу.

2. Одним із найбільш розповсюджених руйнувань асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг є тріщини. Утворення тріщин викликане певними переважними причинами. Серед багатьох чинників, які впливають на тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу багатьма дослідниками виділяються домінуючі. До них належать – одночасний зовнішній вплив інтенсивного навантаження від великовагових транспортних засобів при низьких температурах зовнішнього середовища та швидкість зміни градієнту температури протягом доби. Низька температура та висока щоденна амплітуда коливань температури сприяють зростанню швидкості проростання тріщини по товщині шару. Температурні напруження більше впливають на процес тріщиноутворення в товстих асфальтобетонних шарах дорожнього одягу в діапазоні температур від мінус 20 °C до 40 °C ніж напруження, що виникають від впливу транспортних засобів.

3. Наявність тріщин в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу призводить до інтенсивного зниження жорсткості усєї конструкції, завдяки прониканню води через них в інші шари з дискретних матеріалів та у ґрунт земляного полотна. В країнах Європи для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг найбільше поширення знайшли бітумно-полімерні композиції гарячого застосування. В

Україні на сьогодні практично відсутнє промислове виробництво вітчизняних герметиків або мастик, призначених для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг, з підвищеною довговічністю за критерієм холодостійкості та міцності зчеплення з асфальтобетонною поверхнею. Тому для герметизації тріщин в Україні переважно використовують герметизуючі матеріали закордонного виробництва, які здатні забезпечувати тривалу герметичність при низьких температурах, значення яких може досягати мінус 30 °С.

4 На основі аналізу літературних джерел встановлено, що у якості основних складників для приготування герметизуючих матеріалів на основі бітумів використовують нафтовий бітум, добавки полімерів, пластифікатор та дрібнодисперсні мінеральні наповнювачі. На сьогодні в Україні практично відсутні результати комплексного дослідження впливу співвідношення складників герметизуючих матеріалів на основі окислених нафтових дорожніх бітумів, їх походження, технологічних режимів об'єднання на забезпечення їх стійкості до старіння в експлуатаційних умовах, холодостійкості та міцності зчеплення з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини. Відсутність вказаних експериментальних досліджень ускладнює прийняття раціонального компонентного складу та технологічних режимів приготування вітчизняних бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування підвищеної довговічності для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг.

5 Узагальнення існуючої закордонної інформації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів дозволяє констатувати, що герметизацію тріщин можна виконувати за різних технологічних процесів їх підготовки до заповнення і безпосереднього заповнення герметиком або мастикою. На сьогодні в дорожній галузі України відсутні чіткі рекомендації щодо раціональних технологій герметизації тріщин різних видів в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. За

вказаної обставини виникає необхідність проведення досліджень у виробничих умовах щодо впливу різних технологічних режимів підготовки тріщин до заповнення та їх заповнення, а також розроблення на їх основі технологічних нормативно-технічних документів.

6 З урахуванням особливостей технології герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг та умов роботи загерметизованих тріщин в експлуатаційних умовах, до бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів зазвичай висувають основні вимоги за показниками теплостійкості, деформативності та еластичності, опору старінню в інтервалі експлуатаційних температур, міцності зчеплення з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає в підвищенні довговічності нежорстких дорожніх одягів герметизацією тріщин в асфальтобетонному покритті на основі встановлення закономірностей впливу складників герметизуючих матеріалів на їх теплостійкість, холодостійкість та міцність зчеплення з поверхнею асфальтобетону в тріщині.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження вирішували такі задачі:

1. Провести аналіз сучасних уявлень про вплив зовнішніх факторів на процеси тріщиноутворення в асфальтобетонних покриттях; склад, структуру бітумних герметиків і мастик та її вплив на властивості; критерії та методи оцінки довговічності герметизуючих матеріалів; теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити особливості процесів структуроутворення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів на границі контакту з асфальтобетонним покриттям в зоні тріщини та їх вплив на формування міцних адгезійних зв'язків.

2. Експериментально дослідити вплив вмісту різних за функціональним призначенням складників бітумно-полімерних

герметизуючих матеріалів на основі окислених нафтових дорожніх бітумів на їхні властивості.

3. Розробити методику для оцінювання міцності зчеплення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини для випробувань у польових та лабораторних умовах.

4. Дослідити вплив технологічних режимів герметизації тріщин на міцність зчеплення між бітумно-полімерними герметизуючими матеріалами різного складу та асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини.

5. Здійснити дослідно-виробничу перевірку та впровадження результатів досліджень в дорожніх організаціях при експлуатаційному утриманні автомобільних доріг та розробити рекомендації щодо герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів бітумно-полімерними герметизуючими матеріалами підвищеної холодостійкості.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вплив складу бітумно-полімерних мастик на процеси структуроутворення та умови їх роботи в експлуатаційних умовах

Робоча гіпотеза в узагальненому вигляді полягає у тому, що подовження міжремонтного терміну служби дорожніх одягів автомобільних доріг можливо досягти шляхом одночасного врахування матеріалознавчих, конструкторських та технологічних аспектів під час санації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття з використанням бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування з підвищеною теплостійкістю та деформативністю в експлуатаційному діапазоні температур, а також міцністю зчеплення з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини.

В основу робочої гіпотези були покладені наступні вихідні положення.

Дослідженнями [1, 4, 6, 12, 21] встановлено, що під впливом навантажень транспортних засобів при низьких температурах та величини амплітуди коливань температури в асфальтобетонному шарі покриття дорожніх одягів автомобільних доріг утворюються тріщини. Процес тріщиноутворення в асфальтобетонному шарі покриття розвивається поступово зі збільшенням кількості прикладених зовнішніх динамічних навантажень протягом певного періоду експлуатації дорожнього одягу. Очевидно, що до головних зовнішніх динамічних впливів, які суттєво позначаються на стійкості асфальтобетонних шарів дорожніх одягів до утворення тріщин, відносяться: величина низьких температур зовнішнього середовища, в якому асфальтобетонне покриття сприймає динамічні навантаження від великовагових транспортних засобів; величина щоденної

амплітуди коливань температури та величина навантажень від рухомих транспортних засобів та інтенсивність їх прикладання.

При впливі низьких температур зовнішнього середовища зі значною величиною амплітуди добового коливання температури ширина утворених активних тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу зростає при зниженні температури та зменшується при її підвищенні. Очевидно, що чим більша величина добової амплітуди коливань температури, тим більша ширина розкриття активних тріщин. Вплив вказаних чинників на неактивні тріщини в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу є мінімальним (ширина неактивних тріщин в асфальтобетонному шарі покриття практично не змінюється).

Експериментально встановлено [28, 29, 107, 117], що ширина розкриття активних тріщин в асфальтобетонному шарі покриття може досягати від 2,5 до 6,0 мм. Зважаючи на те, що ширина активних тріщини в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу може суттєво змінюватись при впливі добової амплітуди коливань температури, вимоги до властивостей бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів для їхньої герметизації та герметизації неактивних тріщин можуть бути різними. З урахуванням значної ширини розкриття активних тріщин, до бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів, призначених для їхньої герметизації, повинні висуватися підвищені вимоги за показниками холодостійкості (деформативності при низьких температурах експлуатації) та міцності їх зчеплення з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини. Одночасно герметизуючий матеріал повинен бути простим у застосуванні та відповідної консистенції за технологічної температури, щоб легко заповнювати тріщину, або нарізаний по тріщині жолоб, не залишаючи в них пустот.

У зв'язку з поздовжніми і вертикальними переміщеннями кромek тріщин, внаслідок впливу навантажень від транспортних засобів та сезонних і добових коливань температури повітря та, відповідно, сприйняття

герметизуючим матеріалом напружень розтягу та стиску, він повинен залишатись гнучким та еластичним і здатним забезпечувати міцне зчеплення з торцевими стінками тріщини або нарізаного жолоба. Щодо інших вимог, то бітумно-полімерний герметизуючий матеріал при високих літніх температурах повітря під дією сонячних променів повинен бути терmostійким та зберігати свої властивості протягом експлуатаційного періоду.

Для приготування бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів з вказаними властивостями доцільно використовувати як складники нафтові окислені дорожні бітуми, полімери класу термоеластопластів, водний катіонний латекс, пластифікатор та наповнювачі. Серед вказаних складників матрицею є нафтовий окислений дорожній бітум, оскільки він, серед компонентів органічного походження, є найдешевшим і тому його вміст в герметизуючому матеріалі є найбільшим. Це мінімізує собівартість бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу гарячого застосування. В процесі приготування бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу його складники у певній послідовності повинні вводитись у матрицю і об'єднуватись з нею змішуванням за відповідної температури.

Полімер класу термоеластопластів як складник герметизуючого матеріалу при додаванні його до матриці підвищує її міцність та надає матриці еластичності завдяки зшиванню молекул у тривимірну просторову сітку [127]. Відомо, що вплив полімеру класу термоеластопластів більше позначається на властивостях, при його введенні до складу бітумів меншої марочної в'язкості, порівняно з бітумами більшої марочної в'язкості [128].

Очевидно, що це пов'язано з впливом групового складу матриці на розчинність термоеластопласту у ній. У складі окислених дорожніх бітумів меншої марочної в'язкості, порівняно з бітумами більшої марочної в'язкості, присутня більша кількість мальтенів (компонентів з найменшою молекулярною масою). Завдяки більшому вмісті мальтенового складнику в

окисленому нафтовому дорожньому бітумі розчинність полімерів класу термоеластопластів у ньому відбувається швидше. Це пов'язано з більшою кінетичною енергією теплового руху молекул низькомолекулярного складнику, які позитивно впливають на прискорення розчинення термоеластопласту у бітумі. Ґрунтуючись на викладеному, тривалість розчинення полімеру класу термоеластопласту можливо скоротити шляхом використання для цього малов'язкого бітуму, або штучним збільшенням вмісту низькомолекулярного складнику у ньому. Більший вміст складнику з меншою молекулярною масою та найбільшою кінетичною енергією теплового руху його молекул сприятиме прискоренню набрякання та розчинення полімеру класу термоеластопластів у бітумі.

Для збільшення у бітумній матриці мальтенової частини з низькою молекулярною масою до неї доцільно долучати пластифікатори нафтового походження. Це сприятиме також зниженню температури крихкості та деформативності бітумної матриці за низьких температур. Одночасно збільшення вмісту пластифікатора у складі бітумної матриці викликатиме зниження показника її теплостійкості, а також бітумно-полімерної композиції (герметика) на її основі. Цей ефект можливо компенсувати збільшенням вмісту полімеру та наповнювача у її складі.

Після суміщення органічних складників бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу виникає багатофазна гетерогенна дисперсна система. У цій системі дисперсійним середовищем, відповідальним за створення гомогенного композиційного бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу, є матричний бітум із збагаченою пластифікатором мальтеновою частиною, а дисперсною фазою – гранули термоеластопласту. Температура матричного бітуму є важливим чинником, від якого залежить швидкість утворення гомогенної структури бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу. Завдяки підвищенню температури матричного бітуму кінетична енергія теплового руху молекул його

мальтенової частини зростатиме і, відповідно, швидкість вказаних процесів прискорюватиметься. При цьому важливим є обмеження температури нагрівання матричного бітуму до 195 °С, вище якої виникає небезпека його інтенсивного старіння і часткової термодеструкції термоеластопласту при тривалому періоді їхнього перемішування.

Після об'єднання термоеластопласту з бітумом, збагаченим мальтеновою складовою, низькомолекулярні компоненти бітуму дифундують в поверхневий шар макромолекул і збільшують їхню рухливість [129]. На початковій стадії перемішування бітуму з термоеластопластом починається його набрякання під впливом ароматичних та насичених вуглеводнів мальтенової складової бітуму [130]. Цей процес супроводжується зменшенням вільної енергії в системі розчинник – полімер [131, 132]. Під час подальшого перемішування макромолекули набряклого полімеру дифундують в бітум. Процес розчинення триває до досягнення в усьому об'ємі бітуму однакової концентрації молекул полімеру. Молекули полімеру в об'ємі бітуму утворюють просторову сітку.

Катіонний латекс як складник бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу вміщує катіоноактивний емульгатор і завдяки цьому покращує адгезійні властивості композиції і додатково впливає на її еластичність.

Для підвищення теплостійкості і зменшення собівартості бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу до його складу додають наповнювачі. Як наповнювачі зазвичай використовують дрібнодисперсні мінеральні порошки. Наповнювачі, адсорбуючи низькомолекулярні компоненти мальтенової частини бітуму, викликають одночасно зростання теплостійкості і зменшення деформативності бітумно-полімерної мастики. При невеликих концентраціях наповнювача деформативність бітумно-полімерної мастики зменшується помірно. Зі збільшенням концентрації наповнювача бітумно-полімерна композиція поступово переходить з пластичного у в'язкий стан, що погіршує її технологічність.

Схематично процес приготування бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів зображено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Схема процесу об'єднання складників бітумно-полімерної герметизуючої мастики шляхом перемішування

З огляду на компонентний склад бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу, одночасного надання йому високої деформативності при низьких температурах, достатньої експлуатаційної теплостійкості та міцності зчеплення з асфальтобетонною поверхнею в тріщині, можливо шляхом поєднання пластифікованого окисленого нафтового дорожнього бітуму, полімеру класу термоеластопластів, водного катіонного латексу та дрібнодисперсних наповнювачів. Такі властивості бітумно-полімерних

герметизуючих матеріалів зумовлені формуванням двох просторових взаємно-проникних структур із макромолекул полімеру та латексу.

Визначальним чинником, що впливає на довготривалу водонепроникність загерметизованих тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу є здатність герметизуючого матеріалу утворювати міцні адгезійні зв'язки з торцевою поверхнею асфальтобетону в тріщині.

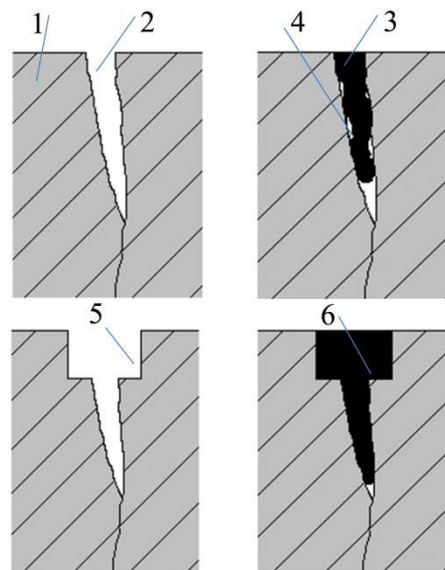
Відомо, що міцність утворених адгезійних зв'язків між адгезивом (бітумно-полімерний герметизуючий матеріал) і субстратом (поверхня асфальтобетону в тріщині) залежить від багатьох чинників, серед яких основними є: природа контактуючих фаз, поверхневі властивості субстрату та адгезиву, величина площі контакту між ними, температура, тощо.

Очевидно, що мікрорельєф торцевих поверхонь тріщини у шарі покриття, який залежить від гранулометричного типу та виду мінеральної частини асфальтобетону, суттєво впливатиме на міцність зчеплення бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу з ними. Рихлий стан торцевих поверхонь, після руйнування асфальтобетонного шару покриття дорожнього одягу та утворення в ньому тріщин, зменшуватимуть міцність зчеплення термопластичного бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу з ними, завдяки формуванню слабких граничних шарів по всій площі контакту між адгезивом та субстратом після виконання робіт з їх герметизації.

Причиною утворення слабких граничних шарів у даному випадку є утворення макро- та мікронерівностей на поверхні розлому та швидке адсорбування на ній молекул газів з повітря і летких рідин (парів води). Тому, при з'єднанні двох торцевих частин асфальтобетонного покриття, які були розділені тріщиною, шляхом притискання одного до іншого, початкову міцність відновити не вдається. Міцність зчеплення між цими двома торцевими частинами асфальтобетонного покриття дорівнює нулю, хоча до утворення тріщини була суттєвою. За цієї причини фактична площа контакту

між двома торцевими поверхнями суттєво менша від номінальної площі контакту.

При герметизації тріщини в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу термопластичними бітумно-полімерними герметизуючими матеріалами (склеювання адгезивом двох поверхонь субстрату) у формуванні з'єднання між ними приймає участь три фази (адгезив, субстрат та повітря). Рідкий бітумно-полімерний герметизуючий матеріал, змочуючи рихлу торцеву поверхню тріщини, при її заповненні, повинен витиснути защемлені численні пухирі повітря з кожного мікрозаглиблення поверхні. Якщо рідкий бітумно-полімерний герметизуючий матеріал не повністю витиснув повітря, його пухирі залишаються затисненими між рихлою асфальтобетонною поверхнею і остиглим герметиком або мастикою і стають концентраторами напружень. Схематичне зображення слабких граничних шарів із защемленим повітрям на торцевих поверхнях тріщини наведено на рис. 2.2.



1 – субстрат, 2 – тріщина, 3 – тріщина, заповнена герметизуючим матеріалом,
4 – защемлені пухирі повітря, 5 – нарізаний жолоб, 6 – заповнений герметиком жолоб

Рисунок 2.2 – Умови формування слабких граничних шарів в зоні контакту між адгезивом (бітумно-полімерний герметизуючий матеріал) та субстратом (асфальтобетонна поверхня в тріщині)

Із зовнішнього середовища на рихлі торцеві поверхні тріщини у процесі експлуатації в зимовий період можуть також потрапляти і адсорбуватись хлориди з розчинених у воді протижеледних матеріалів та інші солі і забруднюючі речовини. Утворені таким чином на границі розділу субстрат – адгезив слабкі граничні шари призводять до того, що в адгезійному з'єднанні між термопластичним бітумно-полімерним герметизуючим матеріалом та асфальтобетонною поверхнею в тріщині виникають зони несучільного контакту. Це ослаблює міцність адгезійної взаємодії бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу з асфальтобетонною поверхнею.

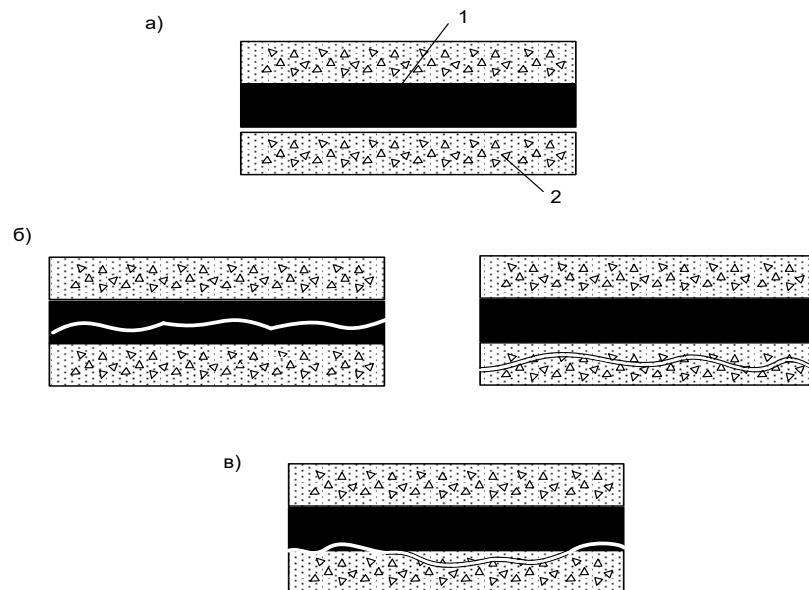
Очевидно, що технологічна операція видалення рихлої частини асфальтобетону на торцевих поверхнях тріщин перед їхньою герметизацією може бути рекомендована як основна в технології герметизації тріщин. Ця технологічна операція полягає у нарізанні жолоба прямокутної форми по абрису тріщини. Вказана технологічна операція забезпечує видалення рихлої торцевої частини тріщини та збільшення міцності зчеплення термопластичного бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу з торцевою поверхнею тріщини при достатній його змочуючій здатності за технологічної температури та холодостійкості і еластичності при низьких температурах експлуатації.

Для полімерних композиційних матеріалів виникнення слабких граничних шарів додатково пов'язують з технологічними факторами – умовами їх нанесення та розтікання [124]. В роботі [125] констатується, що витискання повітря із чисельних тріщин, пор та нерівностей мікрорельєфу поверхні субстрату, у процесі розтікання та змочування її адгезивом, відбувається зазвичай завдяки термодинамічним явищам на границі розділу фаз та капілярних сил, і гальмуються величиною в'язкості адгезиву. Дослідженнями встановлено [126], що більша кількість защемленого повітря

витискається при змочуванні шорсткої поверхні рідиною з низькою в'язкістю, порівняно з рідиною з більшою в'язкістю.

Характеристикою зчеплення бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу гарячого застосування з торцевою поверхнею тріщини (не залежно від того, чи є вона рихлою, або попередньо підготовленою нарізанням жолоба перед герметизацією) є величина зусилля відриву, яка необхідна для відділення адгезиву від субстрату одночасно по всій площі контакту. Величина міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з торцевою асфальтобетонною поверхнею тріщини визначається в дисертаційній роботі як відношення величини рівномірного максимального зусилля відриву до одиниці площі контакту.

Відомими видами руйнувань зв'язків в системі адгезив – субстрат, для прийнятої схеми рівномірного відриву, є: адгезійний (герметизуючий матеріал повністю відривається від поверхні асфальтобетону в зоні тріщини, рис. 2.3, а), когезійний (розрив відбувається по тілу мастики/герметика або по тілу асфальтобетону, рис. 2.3, б), адгезійно-когезійний (відбувається частковий відрив мастики від поверхні асфальтобетону та часткове руйнування по тілу мастики або асфальтобетону, рис. 2.3, в).



1 – адгезив; 2 – субстрат; а – адгезійне; б – когезійне; в – адгезійно-когезійне

Рисунок 2.3 – Види руйнувань адгезійних з'єднань

Відомо, що окремо взятий вид руйнування з'єднання між адгезивом та субстратом залежить від швидкості зростання руйнівного зусилля. Когезійне руйнування відбувається при меншій швидкості прикладання навантаження. Подальше підвищення швидкості прикладання навантаження призводить до адгезійно-когезійного руйнування, а при високих швидкостях прикладання навантаження – до адгезійного руйнування.

Одним із чинників, який суттєво впливає на формування міцних адгезійних зв'язків між бітумно-полімерним герметизуючим матеріалом та торцевими поверхнями тріщини є також температура (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Взаємний вплив температурних складників на міцність зчеплення адгезиву з субстратом

Збільшення температури поверхні асфальтобетонного покриття в зоні тріщини позитивно впливатиме на процес її змочування бітумно-полімерним герметизуючим матеріалом і, відповідно, на зменшення загальної площі утворених слабких граничних шарів. За таких умов міцність зчеплення адгезиву з субстратом зростатиме.

2.2 Програма експериментальних досліджень

Для підтвердження сформульованих теоретичних передумов та визначення впливу різних складників на властивості бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів на основі окислених нафтових дорожніх бітумів,

експериментальної перевірки впливу різних технологічних чинників на міцність зчеплення герметизуючих бітумно-полімерних мастик з поверхнею асфальтобетонного покриття в зоні тріщини, прийнята наступна програма досліджень:

1. Обґрунтувати об'єкти та вибрати методи досліджень, які найбільшою мірою моделюють умови роботи загерметизованих тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу в експлуатаційних умовах.

2. Дослідити вплив різного вмісту пластифікатору та полімерів типу стирол-бутадієн-стирол у складі окислених нафтових дорожніх бітумів на теплостійкість, холодостійкість та еластичність бітумно-полімерних герметиків гарячого застосування.

3. Провести експериментальні дослідження впливу вмісту дрібнодисперсних наповнювачів різного походження як складників бітумно-полімерних мастик на показники їх холодостійкості, теплостійкості та еластичності. Виконати порівняння ефективності впливу різних наповнювачів на теплостійкість бітумно-полімерних мастик гарячого застосування.

4. Розробити методику для визначення міцності зчеплення термопластичних бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів з асфальтобетонною поверхнею шару покриття дорожнього одягу за методом рівномірного відриву в діапазоні експлуатаційних температур.

5. Експериментально дослідити вплив різних температурних режимів герметизації тріщини в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу на міцність зчеплення бітумно-полімерного герметика з поверхнею асфальтобетону.

6. Дослідити температурну залежність міцності зчеплення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів різного складу з поверхнею асфальтобетону.

7. На основі встановлених закономірностей розробити рекомендації та нормативно-технічні документи щодо вимог до бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування, а також стандарт-настанову щодо вимог до технології та режимів герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів.

8. Здійснити дослідно-виробничу перевірку та впровадження результатів досліджень в дорожньо-будівельних організаціях та оцінити економічну ефективність герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті дорожніх одягів.

2.3 Висновки по розділу

1. Теоретично обґрунтована можливість формування структури, яка забезпечить одночасно високу холодостійкість, еластичність, експлуатаційну теплостійкість та міцність зчеплення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування з торцевими поверхнями тріщини в асфальтобетонному покритті дорожніх одягів. Формування такої структури можливе шляхом об'єднання окисленого нафтового дорожнього бітуму, пластифікатора нафтового походження, полімеру класу термоеластопластів та водного катіонного латексу.

2. Обґрунтовано, що формування двох взаємопроникних просторових сіток з макромолекул полімеру класу термоеластопластів і макромолекул катіонного латексу в об'ємі бітуму, можливо досягти шляхом послідовного об'єднання їх з пластифікованим окисленим дорожнім бітумом з високим вмістом мальтенової частини.

3. Введення дрібнодисперсних наповнювачів викликає формування на їхній поверхні структурованого адсорбційно-сольватного шару із низькомолекулярної мальтенової частини бітумно-полімерного

герметизуючого матеріалу та позначається на зростанні показників теплостійкості мастик і температури гнучкості при низьких температурах.

4. Обґрунтовано, що рихлий стан та шорсткість торцевих поверхонь тріщини позначається на формуванні слабких граничних шарів в зоні контакту між бітумно-полімерним герметизуючим матеріалом та асфальтобетонною поверхнею. Наявність слабких граничних шарів призводить до зменшення міцності зчеплення між бітумно-полімерним герметизуючим матеріалом та асфальтобетонною поверхнею. Зменшення впливу слабких граничних шарів на міцність зчеплення між адгезивом та субстратом можливо шляхом нарізання жолоба прямокутної форми по абрису тріщини.

5. Результати досліджень другого розділу опубліковані частково у публікації [135].

РОЗДІЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Характеристика матеріалів, прийнятих для дослідження

Для дослідження впливу різних складників на властивості герметизуючих матеріалів та мастик на їх основі в якості вихідних матеріалів були прийняті окислені нафтові дорожні бітуми, які модифікували пластифікатором, термоеластопластичним полімером типу стирол-бутадієн-стирол (SBS) та катіонним латексом.

Для приготування бітумно-полімерних герметиків у якості основного складника (матрична основа) були прийняті окислені нафтові дорожні бітуми марок БНД 50/70 та БНД 70/100. Основні фізико-механічні властивості нафтових дорожніх бітумів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості нафтових дорожніх бітумів

Найменування показника	Марка бітуму	
	БНД 50/70	БНД 70/100
Глибина проникнення голки за температури 25 °С, 0,1 мм	65	96
Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	50	45
Дуктильність при 25 °С, см	58	>100
Температура крихкості, °С	-19	-22
Зчеплюваність з поверхнею скла, %	32	28
Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	242	235
Зміна маси після прогрівання, %	0,4	0,5
Залишкова пенетрація, %	80	78
Зміна температура розм'якшеності після прогрівання,	3,5	4

Як складники герметизуючого матеріалу застосовували термоеластопласт класу SBS марки «KRATON D-1101» (таблиця 3.2) та водний катіонний латекс серії «BUTONAL» (таблиця 3.3) з метою забезпечення еластичності та підвищення їх теплостійкості.

Термоеластопласт марки «KRATON D-1101» представляє собою лінійний блок-сополімер на основі стиролу і бутадієну з вмістом стиролу 31 % за масою. Основні властивості полімеру «KRATON D-1101» наведені в таблиці 3.2 (за даними виробника [133]).

Таблиця 3.2 – Основні технічні характеристики термоеластопласту «KRATON D-1101 CM» (за даними виробника)

Назва властивостей	Значення
Вміст стиролу, % мас	31
Летючі компоненти, % мас	0,3
Компоненти, що екстрагуються, % мас	1
В'язкість розчину (а), Па·с	4
Вміст антиоксиданту, % мас	>0,14
Індекс текучості, 200 °C/5 кг, г/10 хв.	<1
Питома щільність	0,94
Насипна щільність, т/м ³	0,3
Твердість по Шору А (b), 30 сек.	72
Міцність на розтяг (с), МПа	33
Модуль пружності 300 % (с), МПа	2,9
Подовження на розтяг (с), %	880
Примітка: а) Визначається у 25 % -му толуольному розчині при 25 °C віскозиметром Брукфілда, моделі LTF або LTV; б) Визначається на стисненій формованій пластині; с) Визначається на плівках, які утворюються при випаровуванні толуольного розчину.	

Основні властивості водного латексу серії «BUTONAL» наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Фізико-хімічні властивості водного латексу серії «Butonal NS 198» класу термоеластопластів (за даними виробника)

Назва властивостей	Значення
Зовнішній вигляд	Водна дисперсія білого кольору
Хімічний склад	Дисперсія стирол-бутадієн-стиролу
Вміст твердої речовини, %	64
Щільність, г/см ³	0,95
Концентрація іонів водню, рН	4,5

Для забезпечення деформативності герметизуючих матеріалів при низьких температурах (холодостійкості) до їх складу додавали пластифікатори із серії нафтових олив. Основні властивості пластифікатора наведені в таблиці 3.4 (за даними виробника [134]).

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики пластифікатора (продукт переробки нафти)

Найменування показника	Значення
Кінематична в'язкість при 100 °С, мм ² /с	20,5
Індекс в'язкості	80
Коксівність, %	0,29
Вміст селективних розчинників, водорозчинних кислот і лугів, механічних домішок, %	Відсутні
Температура, °С: - спалаху у відкритому тиглі - застигання	275 -29

Для підвищення теплостійкості герметизуючих матеріалів до їхнього складу вводили мінеральні наповнювачі. Наповнювачі, що позначені

індексом В та К, виготовлені з кальцитовмісних матеріалів, а наповнювач під індексом Г представлений дрібнодисперсним каоліном. Гранулометричні склади наповнювачів наведені в таблицях 3.5-3.7.

Таблиця 3.5 – Гранулометричний склад наповнювача (індекс В, вапняк мелений)

Залишки на ситах	0,315	0,14	0,071	0,056	0,046	< 0,046
В грамах	2,31	5,55	10,34	3,75	10,1	67,9
У відсотках (часткові залишки)	2,3	5,6	10,3	3,8	10,1	67,9
У відсотках (повні залишки)	2,3	7,9	18,2	22	32,1	100

Таблиця 3.6 – Гранулометричний склад наповнювача (індекс Г, каолін)

Залишки на ситах	0,14	0,071	0,056	0,046	< 0,046
В грамах	-	0,01	0,10	0,44	99,45
У відсотках (часткові залишки)	-	0,01	0,10	0,44	99,45
У відсотках (повні залишки)	-	0,01	0,11	0,55	100

Таблиця 3.7 – Гранулометричний склад наповнювача (індекс К, крейда мелена)

Залишки на ситах,	0,315	0,14	0,071	0,056	0,046	< 0,046
В грамах	1,53	1,77	4,73	2,84	5,59	83,54
У відсотках (часткові залишки)	1,5	1,8	4,7	2,9	5,6	83,5
У відсотках (повні залишки)	1,5	3,3	8	10,9	16,5	100

Окрім мінеральних наповнювачів різного походження як наповнювач використовували також подрібнену гумову крихту з розміром часток менше 1 мм (за даними виробника, це продукт переробки старих автомобільних шин в гумову крихту). Гранулометричний склад гумової крихти приведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Гранулометричний склад гумової крихти

Залишки на ситах, %	Вміст зерен, %, більше даного розміру, мм						
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	< 0,071
Часткові	-	0,06	0,15	42,51	44,47	8,45	4,36
Повні	-	0,06	0,21	42,72	87,19	95,64	100

На сьогодні закордонні фірми-виробники є основними постачальниками герметизуючих матеріалів та мастик в Україну. Ними виготовляється та пропонується широка номенклатура герметизуючих матеріалів та мастик, призначених для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях та деформаційних швів в жорстких дорожніх одягах, кращими з яких, за експлуатаційними якостями, є бітумно-полімерні композиції гарячого застосування. Для порівняння основних фізико-механічних властивостей досліджуваних в дисертаційній роботі бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів із аналогами були прийняті герметики та мастики закордонних виробників наступних торгових марок: Crafrko-R-201, 1D60/81C, Crack Master Supreme, Crack Master 3405, Crack Master 5078, Biguma TL 82, Biguma RS.

Результати лабораторних експериментальних досліджень бітумно-полімерних мастик та герметиків різних закордонних виробників наведені в таблиці 3.9 та 3.10.

Таблиця 3.9 – Фізико-механічні властивості бітумно-полімерних герметиків

Показники властивостей	Назва герметика		
	Crack Master 3405	Crack Master Supreme	Crack Master 5078
Температура розм'якшення, °C	87	95	95
Пенетрація при 25 °C, 0,1 мм	50	33	33
Температура крижкості, °C	-	- 27	-
Дуктильність при 25 °C, см	34	85	44
Еластичність, %	96	98	97
Гнучкість на стрижні діаметром 30 мм, °C	- 29	- 22	- 23
Гнучкість на стрижні діаметром 10 мм, °C	- 27	- 20	- 21

Таблиця 3.10 – Фізико-механічні властивості бітумно-полімерних мастик

Показники властивостей	Назва мастики			
	Crafko-R-201	1D60/81C	Biguma RS	Biguma TL 82
Температура розм'якшення, °C	89	99	97	92
Температура крижкості, °C	<-40	-26	-39	<-39
Дуктильність при 25 °C, см	49	38	20	24
Еластичність, %	100	94	96	97
Гнучкість на стрижні діаметром 30 мм, °C	<-30	-25	-30	-30

Наведені результати вказують на високі показники температури розм'якшення, еластичності та гнучкості при низьких температурах досліджених герметизуючих матеріалів закордонного виробництва. Зважаючи на те, що в Україні взимку іноді спостерігаються температури навколишнього середовища мінус 30 °С, до застосування в Україні можуть бути рекомендовані бітумно-полімерні мастики Crafo-R-201, Biguma RS та Biguma TL 82.

3.2 Методи і обладнання, прийняті для дослідження

Для приготування герметизуючих матеріалів різного складу використовували лабораторну електромеханічну мішалку, схема якої наведена на рис. 3.1. Мішалка обладнана системою нагрівання, яка забезпечує рівномірне нагрівання всього об'єму матеріалу до необхідної температури і її підтримку протягом періоду, необхідного для змішування всіх складників герметизуючого матеріалу. Кількість обертів валу мішалки складає 1200 об/хв.

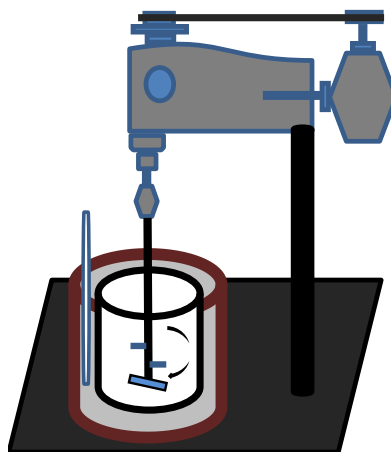


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної мішалки для приготування герметизуючих матеріалів

Для експериментальних досліджень були прийняті як стандартні методи випробувань бітумів і бітумних композицій згідно з ДСТУ 8825:2019 «Бітум та бітумні в'язучі. Визначення розтяжності», ДСТУ Б В.2.7-81-98

«Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Метод визначення показника зчеплюваності з поверхнею скла та кам'яних матеріалів», ДСТУ EN 1426:2018 (EN 1426:2015, IDT) «Бітум та бітумні в'язучі. Визначення глибини проникності голки (пенетрації)», ДСТУ EN 1427:2018 (EN 1427:2015, IDT) «Бітум та бітумні в'язучі. Визначення температури розм'якшеності за методом кільця і кулі», ДСТУ EN 12593:2018 (EN 12593:2015, IDT) «Бітум та бітумні в'язучі. Визначення температури крихкості за методом Фрааса», ДСТУ EN ISO 2592:2017 (EN ISO 2592:2001, IDT; ISO 2592:2000, IDT) «Визначення температур спалаху і займання. Метод із застосуванням приладу Клівленда з відкритим тиглем», так і додаткові методи, що дозволяють більш повно характеризувати досліджувані матеріали.

Під час лабораторних випробувань герметизуючих матеріалів і бітумно-полімерних мастик визначали також показник гнучкості при низьких температурах. Гнучкість – властивість зразка герметизуючого матеріалу або бітумно-полімерної мастики витримувати вплив низьких температур без появи на його поверхні тріщин та зламів при вигині на стрижні.

Для випробувань герметиків та бітумно-полімерних мастик на гнучкість використовували морозильну камеру, що забезпечує утворення і підтримку температури нижче мінус 35 °С, а також металеві стрижні діаметром 30, 20 та 10 мм.

Для випробувань виготовляли не менше трьох зразків шляхом нанесення шару герметика або бітумно-полімерної мастики товщиною 2 мм на смужки фольги розміром 100×20×2 мм. Після остигання до температури навколишнього середовища підготовлені до випробування зразки витримували не менше 1 години при температурі не вище 25 °С.

При випробуваннях на гнучкість виготовлені зразки розміщували у морозильній камері і термостатували при температурі мінус 20 °С протягом 1 години. Після закінчення заданого часу термостатування зразки по черзі в морозильній камері прикладали до стрижня таким чином, щоб до нього

прилягало приблизно 0,25 довжини зразка. Вільний кінець зразка вигинали навкруги стрижня. Візуально перевіряли наявність тріщин та зломів, що утворилися у процесі вигинання. За відсутності тріщин або зломів вважали, що зразки герметика або бітумно-полімерної мастики витримали випробування. Для наступної серії зразків, розміщених у морозильній камері, температуру знижували на 5 °С, та витримували протягом 1 години. Для зразків цієї серії проводили аналогічні випробування на циліндрі. Для наступних серій зразків випробування проводили, знижуючи кожного разу температуру у морозильній камері на 5 °С, аж до появи тріщин не менше ніж у двох зразках, що випробовували.

За результат випробування приймали температуру вищу на 2 °С від температури, за якої не менш ніж у двох випробуваних зразків не виявлено тріщин та зломів.

Загальний вигляд зразка при визначенні показника гнучкості герметизуючого матеріалу зображений на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд зразка під час визначенні показника гнучкості герметизуючого матеріалу

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-136:2016 «Матеріали для герметизації швів та тріщин в покриттях дорожнього одягу автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги» показник міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з основою визначають згідно з 3.4 ДСТУ Б В.2.7-84-99 «Будівельні матеріали. Мастики покрівельні та гідроізоляційні. Методи випробувань», або за методом вказаним у нормативному документі на конкретний вид герметизуючого матеріалу. Згідно з чинним ДСТУ Б В.2.7-84-99 «Будівельні матеріали.

Мастики покрівельні та гідроізоляційні. Методи випробувань» для визначення показника міцності зчеплення герметизуючого матеріалу у якості субстрату рекомендується використовувати зразки з цементобетону марки 200. При цьому методика визначення показника міцності зчеплення термопластичних бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів з поверхнею асфальтобетонного шару покриття дорожнього одягу відсутня.

В дисертаційному дослідженні для визначення міцності зчеплення герметизуючих матеріалів з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини був прийнятий метод рівномірного відриву. Метод рівномірного відриву дозволяє виміряти величину зусилля, яке необхідне для відділення адгезиву від субстрату одночасно по всій площі контакту. При цьому зусилля прикладають перпендикулярно площині відриву, а величину міцності зчеплення (адгезії) характеризують силою, віднесеною до площі контакту.



Рисунок 3.3 – Прилад адгезиметр ОНИКС-1.АП

Визначення міцності зчеплення герметизуючих матеріалів різного складу з асфальтобетонною поверхнею виконували за допомогою приладу ОНИКС-1.АП, який забезпечує оцінювання руйнівного зусилля за методом рівномірного відриву (рис. 3.3). Прилад ОНИКС-1.АП виготовляється серійно та призначений для визначення показника адгезії захисного покриття до металевої поверхні.

Традиційна методика підготовки зразків та випробування полягає у приклеюванні металевого штампу до поверхні захисного покриття (адгезив), нанесеного на поверхню (субстрат), що захищається, з наступним приєднанням приладу до штампу і визначенням зусилля відриву адгезиву від субстрату одночасно по всій площі контакту. Для приклеювання металевого штампу до захисного покриття традиційно використовують епоксидний клей, або інший клей, який забезпечує міцність зчеплення захисного покриття з відривним штампом більшу ніж міцність зчеплення захисного покриття з субстратом.

Міцність зчеплення захисного покриття з основою при рівномірному відриві у мегапаскалях визначають як відношення максимального зусилля відриву до площі контакту металевого штампу за формулою:

$$\sigma = \frac{P}{S} \cdot 10^{-6}, \quad [3.1]$$

де P – максимальне зусилля відриву, Н;

S – площа металевого штампу, м^2 .

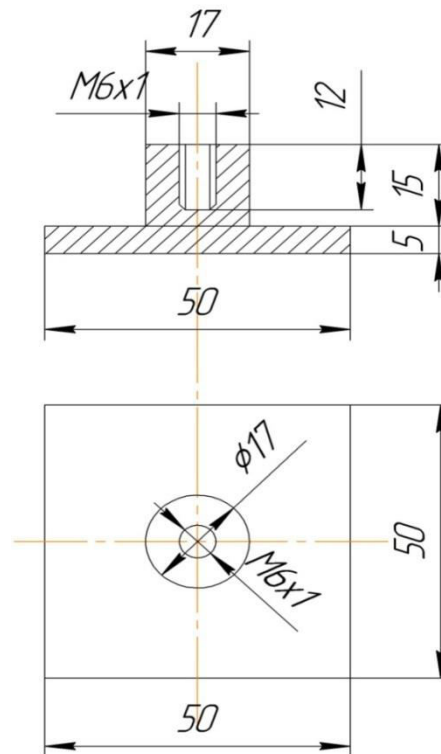


Рисунок 3.4 – Металевий штамп для визначення міцності зчеплення адгезиву з субстратом, яким комплектується прилад ОНИКС-1.АП

Металеві штампи мають прямокутну форму з розмірами $50 \times 50 \pm 0,5$ мм загальною площею 2500 мм^2 (рис. 3.4). Перед приклеюванням металевого штампу його поверхню, яка контактує з адгезивом, зачищають шліфувальним папером та знежирюють ацетоном.

Для проведення досліджень впливу складу термопластичних бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів та технологічних режимів їх застосування на міцність зчеплення з поверхнею асфальтобетону в зоні тріщини в дисертаційній роботі розроблена методика виконання випробувань за методом рівномірного відриву.

Конструкція опорної частини вихідного приладу ОНИКС-1.АП придатна для визначення зусилля відриву герметизуючого матеріалу, нанесеного на поверхню асфальтобетонного шару покриття в зоні тріщини, безпосередньо на автомобільній дорозі. Проте така конструкція опорної частини приладу не придатна для дослідження в лабораторних умовах впливу різних зовнішніх чинників на значення зусилля відриву герметизуючого матеріалу від поверхні заформованих циліндричних асфальтобетонних зразків, або кернів, відібраних з покриття дорожнього одягу. Для цього була удосконалена опорна конструктивна частина приладу ОНИКС-1.АП. На рисунку 3.5 наведено загальний вигляд приладу ОНИКС-1.АП, приєднаного до асфальтобетонного зразка через металевий штамп, у зібраному стані з удосконаленою опорною конструктивною частиною.

Розроблена в дисертаційній роботі методика визначення зусилля відриву адгезиву від субстрату в лабораторних умовах полягає у використанні для цього зразків циліндричної форми діаметром 150 мм, заформованих із асфальтобетонної суміші, або вирізаних безпосередньо із асфальтобетонного шару покриття дорожнього одягу автомобільної дороги. Торцева площа асфальтобетонного зразка вказаного діаметру дозволяє

розмістити на ній та закріпити на нанесеному герметизуючому матеріалі два металевих штампи.



Рисунок 3.5 – Прилад адгезиметр ОНИКС-1.АП з удосконаленою опорною конструктивною частиною для визначення зусилля відриву

Для дослідження впливу технологічних режимів герметизації вузьких активних і неактивних тріщин (без нарізання жолоба) на міцність зчеплення герметизуючого матеріалу з субстратом використовували циліндричні асфальтобетонні зразки вирізані безпосередньо з покриття дорожнього одягу. Підготовку асфальтобетонних зразків, вирізаних з шару покриття, перед нанесенням герметизуючого матеріалу, здійснювали промиванням під струменем водопровідної води з наступним висушуванням до постійної маси за температури не вище 80 °С.

Для дослідження впливу технологічних режимів герметизації середніх активних і неактивних тріщин з нарізаним жолобом на міцність зчеплення різних за складом герметизуючих матеріалів з субстратом використовували циліндричні асфальтобетонні зразки вирізані безпосередньо з покриття дорожнього одягу. Підготовку поверхні асфальтобетонних зразків, вирізаних з шару покриття, перед нанесенням герметизуючого матеріалу, здійснювали наступним чином. За допомогою дискової фрези відрізували 10 мм товщини

циліндричного зразка (з верхньої торцевої частини). Після цього зразок промивали під струменем водопровідної води та висушували до постійної маси за температури не вище 80 °С.

Для безпосереднього визначення міцності зчеплення різних за складом герметизуючих матеріалів з субстратом зразки готували шляхом закріплення металевих пластин-штампів прямокутної форми на поверхні герметизуючого матеріалу, нанесеного за температури 180 °С на попередньо підготовлену торцеву поверхню асфальтобетонного зразка. Перед приведенням в контакт з гарячим герметизуючим матеріалом металевий штамп, поверхня якого попередньо була очищена шліфувальним папером та знежирена ацетоном, нагрівали до температури на 20 °С більшої від температури розм'якшення герметизуючого матеріалу. Постійну товщину герметизуючого матеріалу між поверхнею металевого штампу та асфальтобетонного зразка $1,5 \pm 0,2$ мм забезпечували підкладками вказаної товщини з кожного боку штампа.

Зразки зі з'єднаними «гаряче до гарячого» герметизуючим матеріалом та металевими штампами залишали в лабораторії для остигання до кімнатної температури. Після цього виконували обрізуванням зайвої частини герметизуючого матеріалу по периметру металевого штампа (рис. 3.6) таким чином, щоб площа бітумно-полімерного герметика або мастики відповідала площі штампа (рис. 3.7).



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд зразка із закріпленими на поверхні мастики металевими штампами

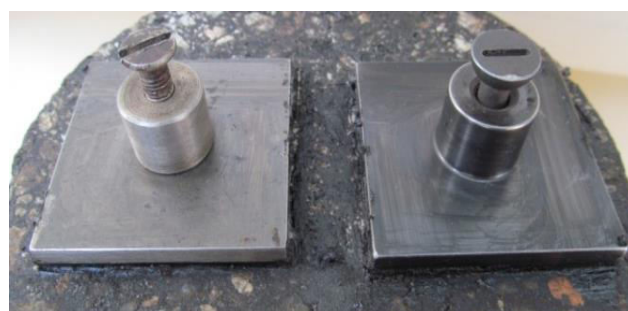


Рисунок 3.7 – Загальний вигляд підготовленого до випробування зразка

Перед випробуванням зразки із металевими штампами, закріпленими на поверхні герметизуючого матеріалу, необхідно витримати протягом 90 ± 5 хвилин в термокамері за встановленої температури випробування.

Після термостатування зразків їх виймають із термокамери і протягом 15-20 секунд фіксують в приладі ОНИКС-1.АП, як показано на рис. 3.8, та проводять випробування до моменту відриву штампа.



Рисунок 3.8 – Прилад ОНИКС-1.АП, приведений у робоче положення

В процесі випробування фіксація максимального зусилля відриву та міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетону відбувається у автоматичному режимі (рис. 3.9).

Розроблену методику можливо використати для дослідження впливу температури поверхні асфальтобетонного покриття (перед нанесення гарячого герметизуючого матеріалу) на міцність зчеплення з нею герметизуючого матеріалу. Для цього асфальтобетонні зразки, перед нанесенням гарячого герметизуючого матеріалу на їхню торцеву поверхню, необхідно витримати в термошафі протягом 90 ± 5 хвилин за різних встановлених температур.

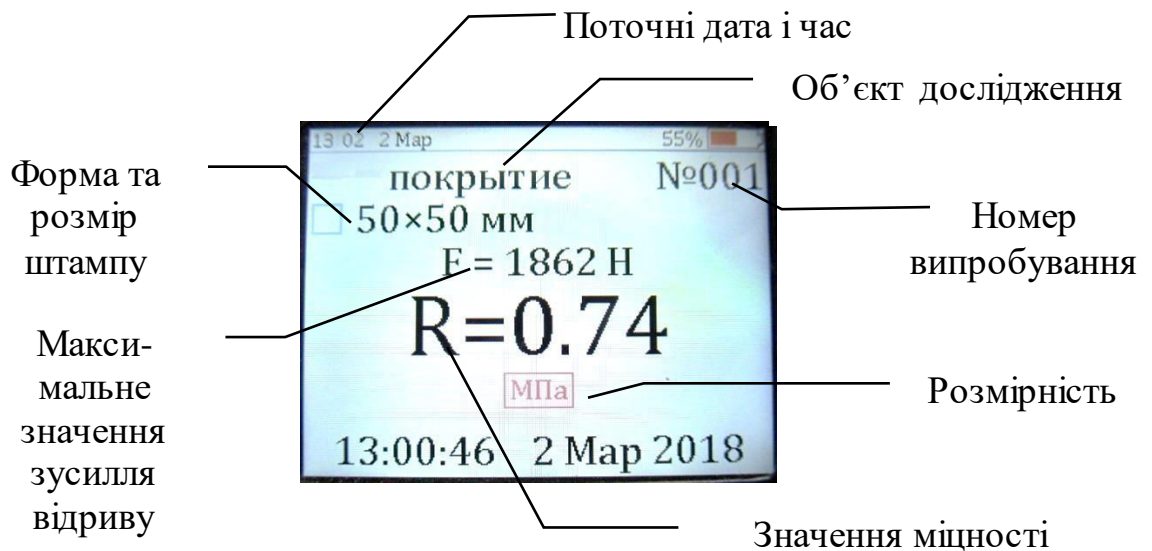


Рисунок 3.9 – Індикація міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетонного зразка у процесі випробування

Одним із основних чинників, що суттєво впливає на міцність зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетонного покриття в зоні тріщини є не тільки технологічна температура використання герметизуючого матеріалу, але і температура асфальтобетонного покриття у зоні тріщини.

Для дослідження впливу вказаних температурних чинників на показник міцності зчеплення в дисертаційній роботі були прийняті різні температурні режими приготування зразків з герметизуючими матеріалами і металевими штампами, а також визначення максимального зусилля відриву, що наведені в таблиці 3.11.

За результат визначення міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетону в зоні тріщини приймали округлене до другого десяткового знаку середньоарифметичне значення випробувань чотирьох зразків. Різниця між найбільшим та найменшим показниками не повинна перевищувати 15 %. У випадку, коли різниця перевищує 15 %, знову повторюють випробування і для розрахунку середньоарифметичного значення беруть результати шести випробувань.

Таблиця 3.11 – Температурні режими приготування зразків

Температура асфальтобетонного зразка при нанесенні герметизуючого матеріалу, °C	Температура за якої визначається показник зчеплення адгезиву з субстратом, °C	Технологічна температура мастики при нанесенні, °C
1	2	3
+ 10	-20	+ 180
	-15	
	-10	
	-5	
	0	
	+5	
	+10	
	+15	
	+20	
+ 20	-20	+ 180
	-15	
	-10	
	-5	
	0	
	+5	
	+10	
	+15	
	+20	
+ 40	-20	+ 180
	-15	
	-10	
	-5	
	0	
	+5	
	+10	
	+15	
	+20	
+ 60	-20	+ 180
	-15	
	-10	
	-5	
	0	
	+5	
	+10	
	+15	
	+20	

Кінець таблиці 3.11

1	2	3
+ 80	-20	+ 180
	-15	
	-10	
	-5	
	0	
	+5	
	+10	
	+15	
	+20	

При призначенні технологічної температури нанесення герметизуючого матеріалу (180 °С) на поверхню асфальтобетонного покриття в зоні тріщини були враховані результати пошукового експерименту. Згідно з результатами пошукового експерименту зниження температури бітумно-полімерного герметика до 170 °С призводить до формування більш слабких адгезійних зв'язків, що позначається на зменшенні показника міцності зчеплення на 10-17 %. Призначення технологічної температури використання бітумно-полімерного герметика більше ніж 180 °С викликатиме більш інтенсивний процес його старіння за рахунок випаровування низькомолекулярних складових пластифікатора.

3.3 Висновки по розділу

1. За отриманими результатами експериментальних досліджень властивостей бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів закордонного виробництва запропоновано здійснювати порівняльний аналіз властивостей вітчизняних герметизуючих матеріалів різного складу, досліджуваних в дисертаційній роботі.

2. Розроблено і запропоновано використовувати для виконання досліджень методику визначення міцності зчеплення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів з поверхнею асфальтобетонів з зоні тріщини, за

методом рівномірного відриву, яка дозволяє моделювати різні технологічні режими об'єднання адгезиву та субстрату.

3. Для дослідження впливу температурних чинників на показник міцності зчеплення запропоновані різні температурні режими приготування зразків з бітумно-полімерними герметизуючими матеріалами гарячого застосування і металевими штампами, а також визначення максимального зусилля відриву.

4. Результати досліджень, що викладені в третьому розділі, опубліковані частково у наступних публікаціях [136, 137].

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРТИМЕТНАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Експериментальні дослідження впливу складників на властивості бітумно-полімерних герметиків гарячого застосування, отриманих в лабораторних умовах

В лабораторних умовах експериментально була відпрацьована технологія приготування бітумно-полімерних герметиків різного складу, за якою в зневоднений нафтовий окислений дорожній бітум, нагрітий до температури 180 °С, додавали певну кількість пластифікатора. Композицію ретельно перемішували в лабораторній мішалці протягом 15 хвилин, потім додавали термоеластопласт типу SBS і суміш продовжували перемішувати при температурі 180-190 °С протягом 60 хвилин. Далі у трьохкомпонентну композицію додавали певну кількість катіонного латексу та продовжували перемішувати її до готовності протягом 20 хвилин при температурі 180-190 °С.

Прийняті для дослідження рецепти бітумно-полімерних герметиків з різною масовою концентрацією складників наведені в таблиці 4.1.

Нафтовий окислений бітум та пластифікатор у складі бітумно-полімерного герметика є дисперсійним середовищем, в якому, при постійному перемішуванні за температури 180-190 °С, розчиняють полімер типу стирол-бутадієн стирол та водний катіонний латекс.

У випадку використання бітуму марки БНД 70/100 для приготування бітумно-полімерних герметиків в рецептах 1 та 4 прийняті різні співвідношення між бітумом цієї марки та пластифікатором при постійній концентрації полімеру типу стирол-бутадієн стирол та водного катіонного латексу. Завдяки прийнятим співвідношенням складників для цих двох рецептів забезпечена різна концентрація низькомолекулярного складника

(пластифікатор) у складі дисперсійного середовища на основі бітуму марки БНД 70/100, призначеного для розчинення у ньому полімерних компонентів. Цим поставлено за мету дослідити, як концентрація пластифікатора впливає в дисперсійному середовищі на холодостійкість герметизуючого матеріалу.

Таблиця 4.1 – Рецепти бітумно-полімерних герметиків з різною масовою концентрацією складників

Індекс рецепту	Назва та вміст складника				
	Пластифікатор, %	Латекс, %	Бітум, %		Полімер, %
			БНД 50/70	БНД 70/100	
1	20	5	-	65	10
2	15	5	-	72	8
3	15	5	-	75	5
4	10	5	-	75	10
5	20	5	60	-	15
6	20	5	65	-	10
7	15	3,75	75	-	6,25
8	10	5	75	-	10

Результати експериментальних лабораторних досліджень впливу складників бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування на основі окисленого нафтового дорожнього бітуму марки БНД 70/100 на їхні основні властивості представлені в таблиці 4.2.

Із наведених в таблиці 4.2 результатів дослідження видно, що із зменшенням концентрації пластифікатора у складі бітумно-полімерних герметиків на основі бітуму марки БНД 70/100, їх температура розм'якшення і температура крихкості зростають, а глибина проникнення голки та еластичність зменшуються. При цьому герметики з вмістом пластифікатора 15 % та більше характеризуються температурою крихкості та гнучкості на стрижні діаметром 20 мм нижче мінус 30 °С.

Таблиця 4.2 – Основні властивості бітумно-полімерних герметиків гарячого застосування на основі бітуму марки БНД 70/100

Індекс рецепту та склад герметика	Показники властивостей				
	$T_p, ^\circ\text{C}$	$P_{25},$ 0,1 мм	$E_{25},$ %	$T_{кр},$ $^\circ\text{C}$	$T_{гн},$ $^\circ\text{C}$
1 Бітум БНД 70/100 (65 %) + Пластифікатор (20 %) + Полімер (10 %) + Латекс (5 %)	98	68	87	нижче - 30	нижче - 30
2 Бітум БНД 70/100 (72 %) + Пластифікатор (15 %) + Полімер (8 %) + Латекс (5 %)	96	62	82	нижче - 30	нижче - 30
3 Бітум БНД 70/100 (75 %) + Пластифікатор (15 %) + Полімер (5 %) + Латекс (5 %)	89	65	79	нижче - 30	нижче - 30
4 Бітум БНД 70/100 (75 %) + Пластифікатор (10 %) + Полімер (10 %) + Латекс (5 %)	102	47	85	нижче - 30	-29
Примітка: Позначення в шапці таблиці: T_p – температура розм'якшення, P_{25} – глибина проникнення голки при 25 $^\circ\text{C}$, E_{25} – еластичність при 25 $^\circ\text{C}$, $T_{кр}$ – температура крихкості, $T_{гн}$ – температура гнучкості на стрижні діаметром 20 мм.					

Із наведених експериментальних даних видно, що із зменшенням вдвічі концентрації низькомолекулярного пластифікатора у складі бітумно-

полімерного герметика гарячого застосування на основі бітуму марки БНД 70/100 (при однаковому вмісті полімерних складників) спостерігається підвищення температури крихкості та температури гнучкості на стрижні діаметром 20 мм вище мінус 30 °С.

Аналіз результатів дослідження властивостей бітумно-полімерних герметиків, приготовлених на основі бітуму марки БНД 70/100 за рецептами 2 та 3, показує, що зменшення вмісту полімеру типу стирол-бутадієн стирол з 8 % до 5 % (при однаковій концентрації пластифікатора і водного катіонного латексу) призводить до зменшення значення температури розм'якшення на 7 °С, еластичності на 3 %, та досить помірного зростання глибини проникнення голки і дуктильності за температури 25 °С.

У випадку використання окисленого нафтового дорожнього бітуму марки БНД 50/70 для приготування бітумно-полімерних герметиків гарячого застосування їх склад за рецептами 5-8 призначали таким чином, щоб можливо було дослідити вплив різної концентрації пластифікатора і полімеру типу стирол-бутадієн стирол на їхні властивості.

Результати експериментальних досліджень властивостей бітумно-полімерних герметиків гарячого застосування, приготовлених в лабораторних умовах на основі окисленого нафтового дорожнього бітуму марки БНД 50/70, наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні властивості бітумно-полімерних герметиків гарячого застосування на основі бітуму марки БНД 50/700

Індекс рецепту та склад герметика	Показники властивостей				
	$T_p, ^\circ\text{C}$	$P_{25},$ 0,1 мм	$E_{25}, \%$	$T_{кр}, ^\circ\text{C}$	$T_{гн},$ $^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5	6
5 Бітум БНД 50/70 (60 %) + Пластифікатор (20 %) +	112	42	95	нижче - 30	нижче - 30

Кінець таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6
Полімер (15 %) + Латекс (5 %)					
6 Бітум БНД 50/70 (65 %) + Пластифікатор (20 %) + Полімер (10 %) + Латекс (5 %)	104	48	85	нижче - 30	нижче - 30
7 Бітум БНД 50/70 (75 %) + Пластифікатор (15 %)+ Полімер (6,25 %) + Латекс (3,75 %)	97	40	80	нижче - 30	нижче - 30
8 Бітум БНД 50/70 (75 %) + Пластифікатор (10 %) + Полімер (10 %) + Латекс (5 %)	106	37	83	нижче - 30	-25
Примітка: Позначення в шапці таблиці: T_p – температура розм'якшення, Π_{25} – глибина проникнення голки при 25 °С, E_{25} – еластичність при 25 °С, $T_{кр}$ – температура крихкості, $T_{гн}$ – температура гнучкості на стрижні діаметром 20 мм.					

Наведені в таблиці 4.3 результати експериментальних досліджень вказують на те, що концентрація пластифікатора у складі бітумно-полімерних герметиків гарячого застосування у кількості 15 % та більше забезпечує їм значення температури крихкості за Фраасом і температури гнучкості на стрижні діаметром 20 мм нижче мінус 30 °С.

Аналіз результатів дослідження показує, що зменшення вмісту пластифікатора у складі герметика до 10 % за масою призводить до

зростання значення температури гнучкості на стрижні діаметром 20 мм до мінус 25 °С. Аналогічна закономірність спостерігалась і у випадку бітумно-полімерних герметиків гарячого застосування, приготовлених в лабораторних умовах на основі окисленого нафтового дорожнього бітуму марки БНД 70/100 (при вказаній концентрації пластифікатора температура гнучкості на стрижні діаметром 20 мм становить мінус 29 °С). За однакового вмісту добавки полімеру типу стирол-бутадієн стирол у складі герметиків на основі окислених дорожніх бітумів марки БНД 50/70 та БНД 70/100 теплостійкість, за величиною температури розм'якшення, є дещо більшою для бітуму БНД 50/70 (коливається в межах від 4 до 6 °С, у залежності від вмісту пластифікатора).

4.2 Дослідження впливу наповнювачів різного походження на властивості бітумно-полімерних мастик гарячого застосування

Бітумно-полімерні мастики відрізняються від бітумно-полімерних герметиків наявністю у їх складі наповнювачів. Для подальших досліджень впливу походження та концентрації наповнювачів у складі мастик на їх властивості, у виробничих умовах ПАТ «ШРБУ-33» на змішувачі планетарного типу був виготовлений бітумно-полімерний герметик на основі окисленого нафтового дорожнього бітуму марки БНД 70/100 виробництва Мозирського НПЗ. Як складники до окисленого дорожнього бітуму додавали 17 % пластифікатора, 8 % полімеру марки «KRATOND-1101 CM» лінійної структури та 5 % за масою водного катіонного латексу марки «Butonal NS 198» при приготуванні бітумно-полімерного герметика. Властивості вихідного бітумно-полімерного герметика, призначеного для отримання на його основі бітумно-полімерних мастик гарячого застосування, наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Властивості бітумно-полімерного герметика

Найменування показника	Вихідний герметик
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °C	106
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °C, мм ⁻¹	68
Дуктильність за температури 25 °C, см	67
Еластичність, %	98
Температура крихкості, °C	> -40
Гнучкість на стрижні d = 2 см, °C	>-35
Щільність, г/см ³ (кг/м ³)	0,98 (980)

Аналіз результатів виконаних досліджень свідчить про те, що бітумно-полімерний герметик, приготовлений на основі пластифікованого окисленого дорожнього бітуму, характеризується одночасно високою температурою розм'якшення і еластичністю та низькою температурою крихкості і гнучкістю при низьких температурах. При цьому пенетрація та дуктильність за температури 25 °C становлять 68 мм⁻¹ та 67 см, відповідно. Високе значення показника еластичності бітумно-полімерного герметика свідчить про наявність в ньому просторової сітчастої структури, яка сформована завдяки додаванню полімерних складників до пластифікованого дорожнього бітуму.

Результати досліджень впливу різних за походженням наповнювачів на властивості бітумно-полімерних мастик наведені в таблицях 4.5-4.8.

Таблиця 4.5 – Основні властивості бітумно-полімерної мастики з мінеральним наповнювачем під індексом К

Найменування показника	Вихідний герметик	Вміст наповнювача під індексом К			
		5	10	15	30
1	2	3	4	5	6
Температура	106	108	109,5	110,6	112,1

Кінець таблиці 4.5

1	2	3	4	5	6
розм'якшення, °C					
Пенетрація, мм ⁻¹	68	62	59	56	45
Пенетрація, мм ⁻¹	68	62	59	56	45
Дуктильність, см	67	64	61	55	-
Еластичність, %	98	96	96	94	-
Температура крихкості, °C	> -40	> -40	> -40	> -40	-30
Гнучкість на стрижні d = 2 см, °C	> -35	> -30	> -30	> -25	-20
Щільність, г/см ³ (кг/м ³)	0,98 (980)	-	-	1,06 (1060)	-

Таблиця 4.6 – Основні властивості бітумно-полімерної мастики з мінеральним наповнювачем під індексом В

Найменування показника	Вихідний герметик	Наповнювач під індексом В, %		
		5	10	15
Температура розм'якшення, °C	106	108,5	109	110
Пенетрація, мм ⁻¹	68	60	57	51
Дуктильність, см	67	58	50	49
Еластичність, %	98	97	96	95
Температура крихкості, °C	> -40	> -40	> -40	-40
Гнучкість на стрижні d = 2 см, °C	> -35	> -30	> -25	-25
Щільність, г/см ³ (кг/м ³)	0,98 (980)	-	-	1,08 (1080)

Таблиця 4.7 – Основні властивості бітумно-полімерної мастики з мінеральним наповнювачем під індексом Г

Найменування показника	Вихідний герметик	Наповнювач під індексом Г, %		
		5	10	15
Температура розм'якшення, °С	106	111	112,7	113,7
Пенетрація, мм ⁻¹	68	70	67	57
Дуктильність, см	67	45	41	34
Еластичність, %	98	97	65	65
Температура крихкості, °С	> -40	> -40	> -40	> -40
Гнучкість на стрижні d = 2 см, °С	> -35	-30	-25	-25
Щільність, г/см ³ (кг/м ³)	0,98 (980)	-	-	1,093(1093)

Як видно з отриманих результатів дослідження, додавання до складу бітумно-полімерного герметика прийнятих для досліджень наповнювачів викликає зміну його властивостей. При цьому, зі збільшенням у складі герметика концентрації мінеральних наповнювачів його температура розм'якшення, температура крихкості та показник гнучкості при низьких температурах зростають, а глибина занурення голки, дуктильність та еластичність зменшуються.

При вмісті у складі бітумно-полімерного герметика різних мінеральних дрібнодисперсних наповнювачів у кількості 15 % за масою його температура розм'якшення зростає у межах 4-8 °С.

За абсолютною величиною показник гнучкості при низьких температурах для бітумно-полімерного герметика становить нижче мінус 35 °С, а для мастик з 15 % різних мінеральних наповнювачів – не нижче

мінус 25 °С. Найбільше зменшення еластичності (на 38 %) властиве бітумно-полімерній мастиці, до складу якої додавали мінеральний наповнювач під індексом Г, а найменше (3 %) бітумно-полімерній мастиці з наповнювачем під індексом В.

Таблиця 4.8 – Основні властивості бітумно-полімерної мастики наповненої подрібненою гумовою крихтою

Найменування показника	Вихідний герметик	Вміст гумової крихти, %			
		3	5	15	20
Температура розм'якшення, °С	106	107,0	107,2	118,5	119,8
Пенетрація, мм ⁻¹	68	64	63	52	44
Еластичність, %	98	-	-	-	-
Температура крихкості, °С	> -40	-40	-40	-38	-38
Гнучкість на стрижні d = 2 см, °С	>-35	-30	-30	-30	-25
Щільність, г/см ³ (кг/м ³)	0,98 (980)	-	-	1,14 (1140)	-

Аналіз наведених в таблицях 4.5-4.7 даних свідчить про те, що із трьох досліджених дрібнодисперсних мінеральних наповнювачів більш ефективно підвищує температуру розм'якшення позначений індексом Г. Очевидно, що це пов'язано з більшою дисперсністю цього мінерального наповнювача (повний залишок на ситі 0,071 мм для наповнювача під індексом В складає 18 %, з індексом К – 8 %, з індексом Г – 0 %). Наведені результати досліджень також підтверджують, що щільність герметизуючого матеріалу закономірно зростає при введенні до його складу мінеральних наповнювачів.

Наведені в таблиці 4.8 результати експериментальних досліджень вказують на те, що щільність бітумно-полімерного герметизуючого

матеріалу найбільше зростає при введенні до його складу наповнювача у вигляді гумової крихти, порівняно з досліджуваними мінеральними наповнювачами. Як і у випадку мінеральних наповнювачів, із збільшенням концентрації гумової крихти у складі бітумно-полімерного герметика його температура розм'якшення, температура крихкості та гнучкість при низьких температурах зростають, а глибина проникнення голки зменшується. Гумова крихта як наповнювач забезпечує найбільший приріст температури розм'якшення та найменше зростання показника гнучкості при низьких температурах порівняно з досліджуваними мінеральними наповнювачами.

В процесі експлуатації бітумно-полімерний герметизуючий матеріал сприймає вплив не тільки низьких, а й високих літніх температур, що може викликати погіршення його основних характеристик завдяки процесам його старіння. В дисертаційній роботі вплив високих експлуатаційних температур на зміну основних властивостей бітумно-полімерних герметиків та мастик моделювали прогріванням зразків товщиною 2 мм у термошафі з вентиляванням за температури 65 °С.

Результати порівняльних експериментальних досліджень впливу прогрівання бітумно-полімерних мастик з різним вмістом наповнювачів на показники їхньої гнучкості та температури розм'якшення наведені в таблицях 4.9-4.12.

Таблиця 4.9 – Зміна основних властивостей бітумно-полімерної мастики з мінеральним наповнювачем (індекс К) після прогрівання

Найменування показника	Концентрація наповнювача з індексом К, %			
	0	5	10	15
1	2	3	4	5
Гнучкість на стрижні d = 2 см, °С, після прогрівання протягом 100 годин	>-30	>-30	-30	-25

Кінець таблиці 4.9

1	2	3	4	5
200 годин	>-30	-30	-25	-20
300 годин	>-30	-25	-25	-20
Температура розм'якшення, °С, після прогрівання протягом				
100 годин	106,3	108,2	109,7	110,9
200 годин	106,9	108,5	109,9	111,0
300 годин	107,1	108,8	110,2	111,2

Таблиця 4.10 – Зміна основних властивостей бітумно-полімерної мастики з мінеральним наповнювачем (індекс В) після прогрівання

Найменування показника	Концентрація наповнювача з індексом В, %			
	0	5	10	15
Гнучкість на стрижні d = 2 см, °С, після прогрівання протягом				
100 годин	>-30	-30	-25	-25
200 годин	>-30	-30	-25	-25
300 годин	>-30	-25	-25	-20
Температура розм'якшення, °С, після прогрівання протягом				
100 годин	106,3	108,7	109,4	110,3
200 годин	106,9	108,9	109,6	110,5
300 годин	107,1	109,1	109,9	110,8

Таблиця 4.11– Зміна основних властивостей бітумно-полімерної мастики з мінеральним наповнювачем (індекс Г) після прогрівання

Найменування показника	Концентрація наповнювача з індексом Г, %			
	0	5	10	15
Гнучкість на стержні d = 2 см, °С, після прогрівання протягом				
100 годин	>-30	>-30	-25	-25
200 годин	>-30	>-30	-25	-25
300 годин	>-30	-30	-25	-25
Температура розм'якшення, °С, після прогрівання протягом				
100 годин	106,3	111,3	113,0	113,9
200 годин	106,9	111,5	113,2	114,1
300 годин	107,1	111,6	113,5	114,4

Таблиця 4.12 – Зміна основних властивостей бітумно-полімерної мастики з гумовою крихтою після прогрівання

Найменування показника	Концентрація гумової крихти, %		
	0	5	15
1	2	3	4
Гнучкість, °С, після прогрівання протягом:			
100 годин	>-30	>-30	- 28
200 годин	>-30	-30	-26
300 годин	>-30	-29	-25
Температура			

Кінець таблиці 4.12

1	2	3	4
розм'якшення, °С, після прогрівання протягом:			
100 годин	106,3	107,5	118,7
200 годин	106,9	107,9	118,9
300 годин	107,1	108,1	119,1

Результати дослідження впливу прогрівання бітумно-полімерних мастик з різними наповнювачами на показники їх старіння, гнучкості та температури розм'якшення показують, що після 300 годин експозиції вказані показники зростають відповідно до збільшення концентрації наповнювачів у їх складі. При низькій концентрації наповнювачів вказані показники властивостей бітумно-полімерних мастик за абсолютною величиною зростають доволі помірно. Найменше старіння одночасно за показниками теплостійкості та холодостійкості властиве бітумно-полімерній мастиці з наповнювачем з гумової крихти. Це свідчить про те, що бітумно-полімерні мастики з концентрацією наповнювачів не більше 5 % за масою забезпечать тривалу роботу у покриттях дорожніх одягів.

4.3 Результати досліджень впливу температурних режимів герметизації на міцність зчеплення герметизуючих матеріалів з асфальтобетонною поверхнею

Приготування зразків для визначення показників міцності зчеплення герметизуючих матеріалів з поверхнею асфальтобетону в зоні тріщини виконували згідно з розробленою методикою, наведеної в розділі 3. Для визначення міцності зчеплення бітумно-полімерного герметика з асфальтобетонною поверхнею використовували зразки циліндри з

дрібнозернистого асфальтобетону типу А. Для дослідження впливу генезису та вмісту наповнювачів у складі бітумно-полімерних мастик на міцність зчеплення з асфальтобетонною поверхнею використовували зразки призми з дрібнозернистого асфальтобетону типу Б. Згідно з таблицею 3.11 технологічна температура бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу під час його нанесення на поверхню попередньо підготовленого асфальтобетонного зразка становила 180 °С. Для дослідження впливу температури асфальтобетонного зразка під час нанесення бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу на міцність зчеплення останнього з його поверхнею, асфальтобетонні зразки попередньо нагрівали в термошафі до певної температури в діапазоні від 10 °С до 80 °С. Температура асфальтобетонних зразків, за якої було виконано нанесення герметизуючого матеріалу, складала 10 °С, 20 °С, 40 °С, 60 °С та 80 °С.

Випробування (визначення значення зусилля відриву та міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетону) підготовлених зразків виконували при температурах мінус 20 °С, мінус 15 °С, мінус 10 °С, мінус 5 °С, 0 °С, 5 °С, 10 °С, 15 °С та 20 °С.

Результати експериментального визначення зусилля відриву і міцності зчеплення бітумно-полімерного герметика (властивості герметика наведені в таблиці 4.4) з поверхнею асфальтобетону наведені на рис. 4.1-4.3.

Отримані результати експериментальних досліджень свідчать про те, що показники зусилля відриву та міцності зчеплення є достатньо чутливими до температури випробування та температури поверхні асфальтобетону, за якої здійснюють герметизацію тріщини. Аналіз експериментально отриманих температурних залежностей зусилля відриву (рис. 4.1) та міцності зчеплення (рис. 4.2) бітумно-полімерного герметика гарячого застосування з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини вказує на те, що їм властива тенденція зменшення значень при зростанні температури випробування. При цьому, значення зусилля відриву та міцності зчеплення бітумно-полімерного

герметика гарячого застосування з поверхнею асфальтобетону зростає зі збільшенням температури прогрівання його поверхні в зоні тріщини безпосередньо перед герметизацією.

Так, у випадку герметизації тріщини в асфальтобетонному покритті за температур останнього 10°C зусилля відриву бітумно-полімерного герметика від його поверхні за температури 20°C становить 283 Н , за температури 0°C – 867 Н і за температури мінус 20°C – 2147 Н . У випадку ж герметизації тріщини в асфальтобетонному покритті при прогріванні його до температури 80°C зусилля відриву бітумно-полімерного герметика від його поверхні за температури 20°C становить 502 Н , за температури 0°C – 1356 Н та за температури мінус 20°C – 2910 Н .

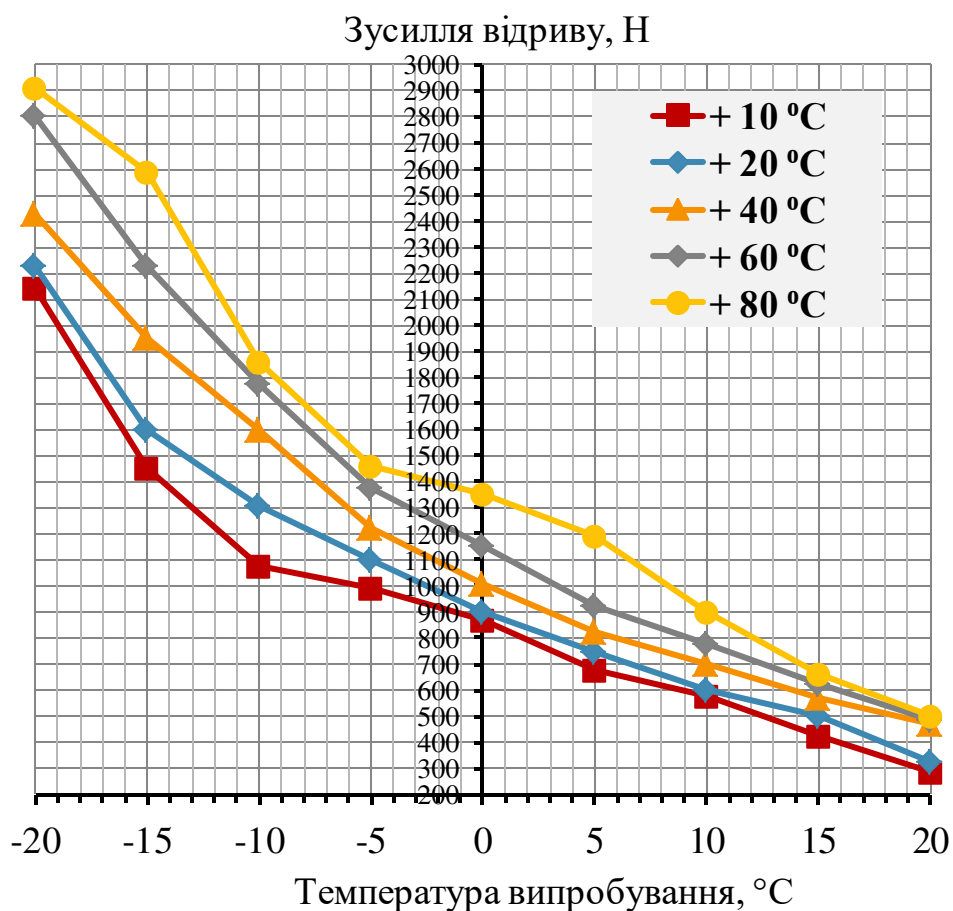


Рисунок 4.1 – Залежність зусилля відриву від температури випробування (в легенді наведені температури поверхні субстрату при нанесенні герметика)

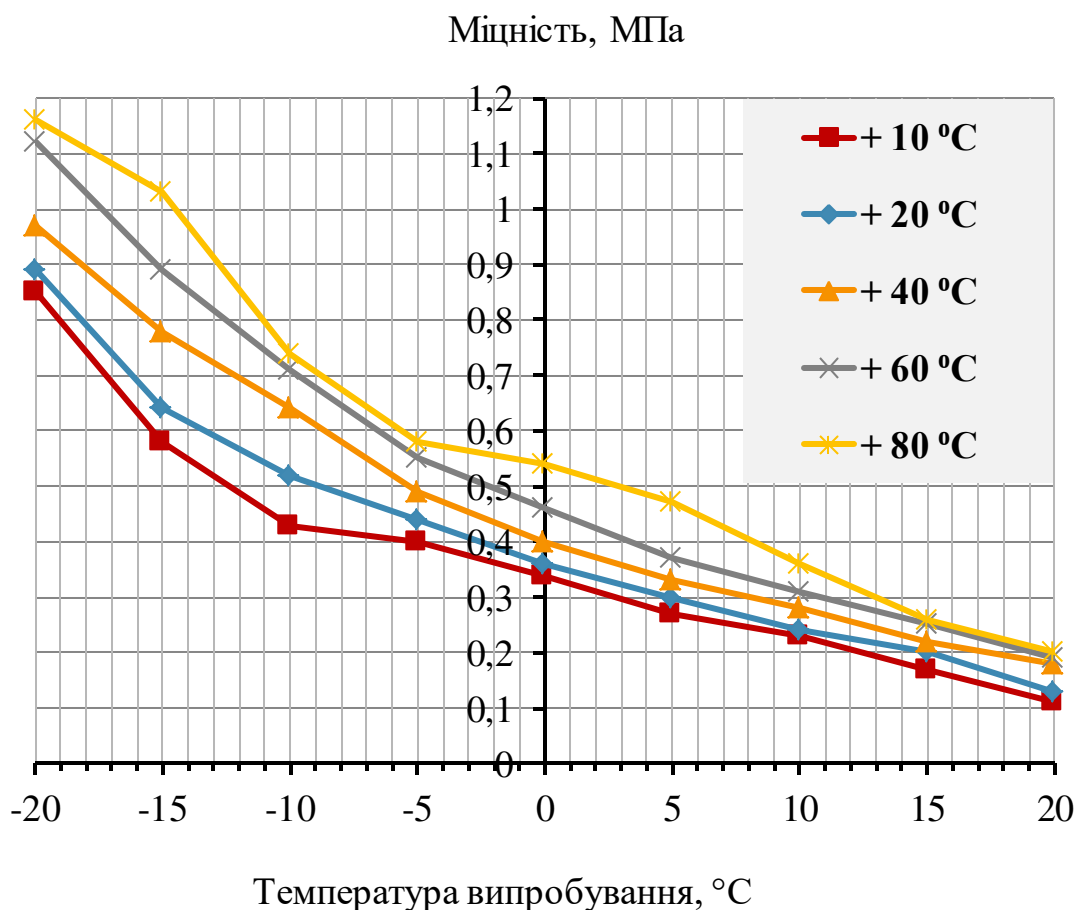


Рисунок 4.2 – Залежність міцності зчеплення від температури випробування (в легенді наведені температури поверхні субстрату при нанесенні герметика)

Отримані результати експериментальних досліджень вказують на те, що при герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття, прогрітому попередньо до температури 80 °C, величина зусилля відриву бітумно-полімерного герметика від асфальтобетонної поверхні в 1,77 рази більша за температури відриву 20 °C, в 1,56 рази більша за температури відриву 0 °C, та в 1,36 рази більша за температури відриву мінус 20 °C, порівняно з асфальтобетонною поверхнею загерметизованою за температури 10 °C. Це свідчить про формування на границі розділу адгезив – субстрат (термопластичний бітумно-полімерний герметик – поверхня асфальтобетону в зоні тріщини) більшої площі слабких граничних шарів у випадку герметизації тріщин за більш низької температури.

При зниженні температури випробування від 20 °С до 0 °С величина зусилля відриву бітумно-полімерного герметика від асфальтобетонної поверхні, загерметизованої за температури 80 °С, зростає у 2,70 рази. При зниженні температури випробування від 0 °С до мінус 20 °С величина зусилля відриву бітумно-полімерного герметика від асфальтобетонної поверхні, загерметизованої за аналогічної температури, зростає дещо менше – у 2,15 рази.

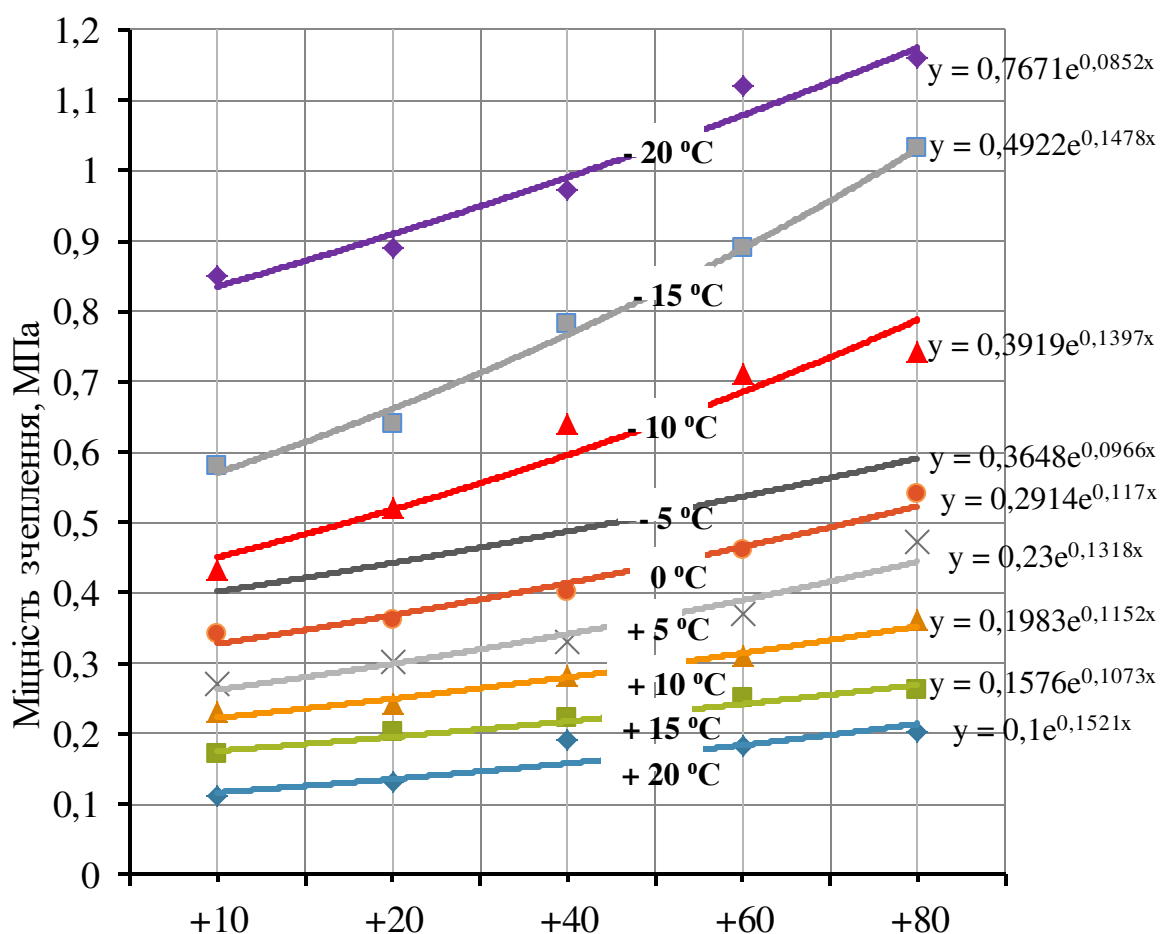
У випадку герметизації тріщин за температури покриття 10 °С величина зусилля відриву бітумно-полімерного герметика від асфальтобетонної поверхні зростає у 3,06 рази, при зниженні температури випробування від 20 °С до 0 °С. А при зниженні температури випробування від 0 °С до мінус 20 °С величина зусилля відриву бітумно-полімерного герметика від асфальтобетонної поверхні зростає у 2,47 рази. При цьому зусилля відриву за абсолютною величиною є значно меншим ніж у випадку загерметизованих тріщин за температури 80 °С.

Отримані результати вказують на те, що температурна чутливість показника зусилля відриву залежить як від діапазону температур, в якому його визначають, так і від температурного діапазону, в якому здійснюють герметизацію тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу.

Аналіз наведених на рис. 4.3 залежностей показує, що більш інтенсивне зростання міцності зчеплення бітумно-полімерного герметика з поверхнею асфальтобетону спостерігається за низьких температур випробування, порівняно з високими.

Для дослідження впливу генезису та вмісту наповнювачів у складі мастик на міцність зчеплення з асфальтобетонною поверхнею для наповнення було використано бітумно-полімерний герметик, властивості якого наведені в таблиці 4.2 (індекс рецепту 2). Прийнятий герметик за

показниками теплостійкості та холодостійкості не поступається закордонним аналогам серії Crack Master (таблиця 3.9).



Температура поверхні субстрату при нанесенні герметика, °C

Рисунок 4.3 – Залежність міцності зчеплення бітумно-полімерного герметика від температури поверхні асфальтобетонного покриття, за якої здійснюється герметизація тріщини

Результати експериментального дослідження впливу концентрації наповнювачів у складі бітумно-полімерного герметика на міцність зчеплення мастики з поверхнею асфальтобетону наведені на рис. 4.4 – 4.7.

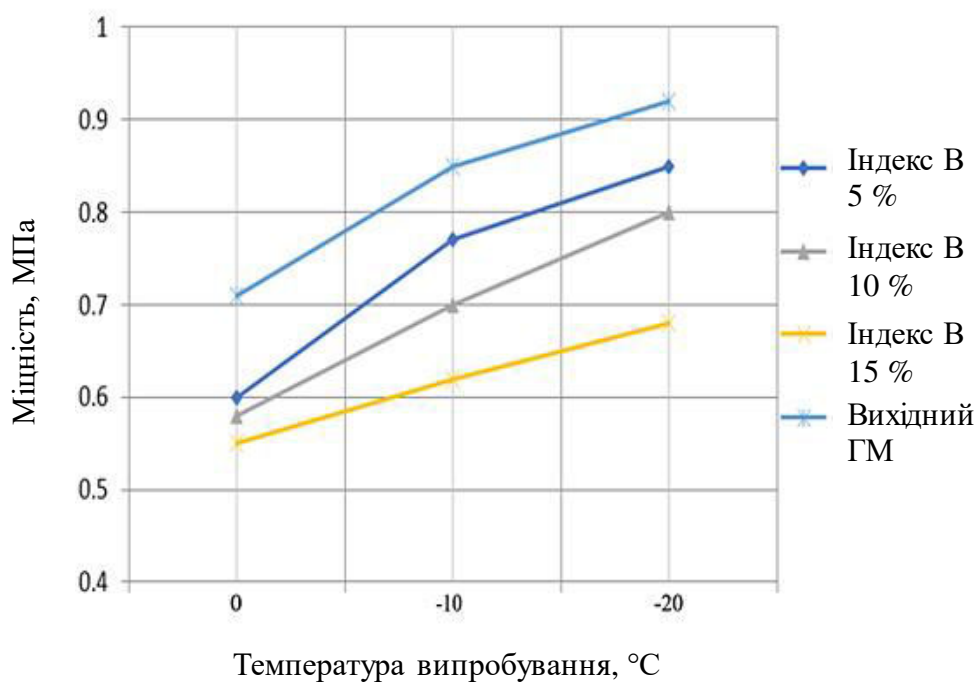


Рисунок 4.4 – Температурна залежність міцності зчеплення з поверхнею асфальтобетону бітумно-полімерного герметика та мастик на його основі з різним вмістом вапняного наповнювача

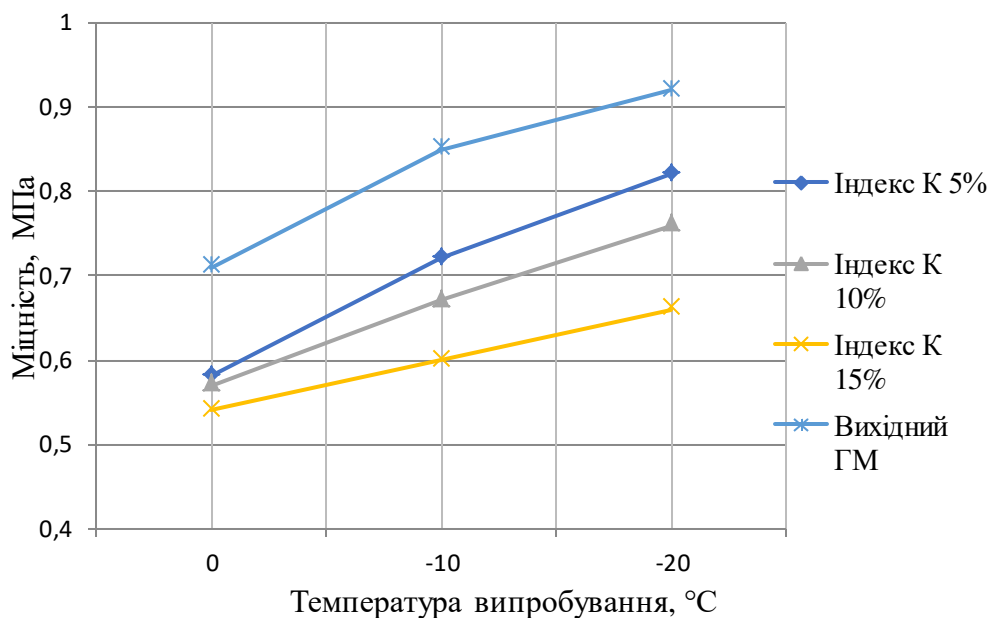


Рисунок 4.5 – Температурна залежність міцності зчеплення з поверхнею асфальтобетону бітумно-полімерного герметика та мастик на його основі з різним вмістом наповнювача з меленої крейди

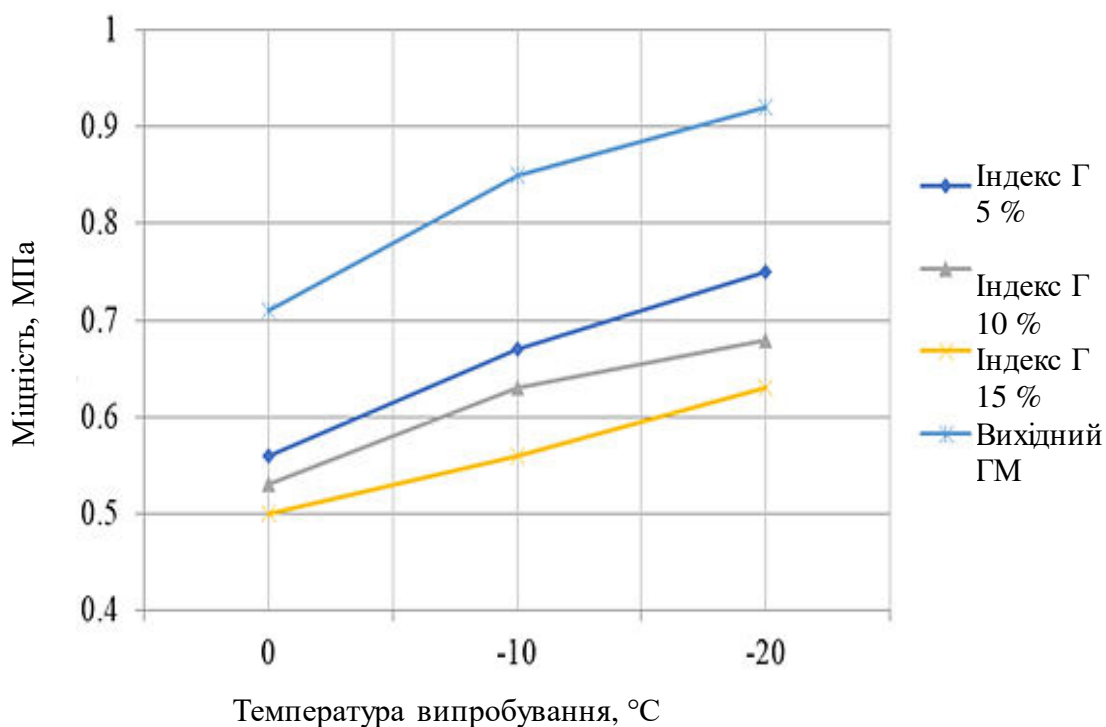


Рисунок 4.6 – Температурна залежність міцності зчеплення з поверхнею асфальтобетону бітумно-полімерного герметика та мастик на його основі з різним вмістом каолінового наповнювача

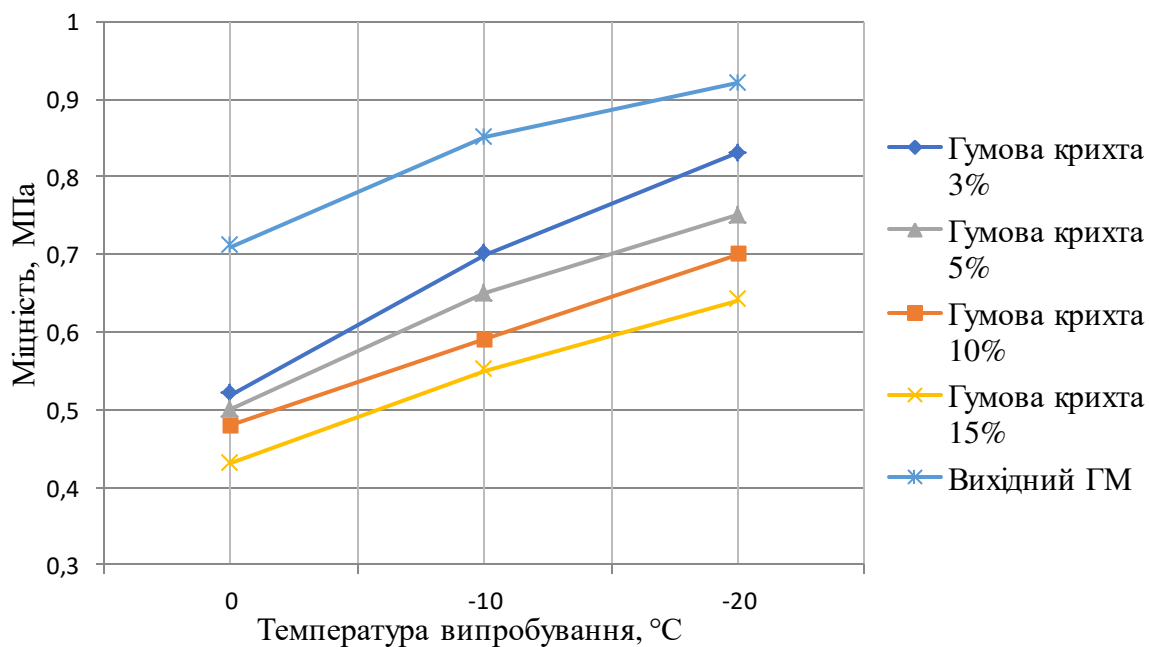


Рисунок 4.7 – Температурна залежність міцності зчеплення з поверхнею асфальтобетону бітумно-полімерного герметика та мастик на його основі з різним вмістом наповнювача з подрібненої гумової крихти

Аналіз отриманих залежностей вказує на те, що зі збільшенням вмісту досліджуваних наповнювачів у складі бітумно-полімерної мастики гарячого застосування їхня міцність зчеплення з поверхнею асфальтобетону зменшується. Очевидно, що це пов'язано зі збільшенням в'язкості бітумно-полімерної мастики за технологічної температури, порівняно з герметиком і, відповідно, погіршенням розтікання та змочування поверхні асфальтобетону. Це викликає формування слабких граничних шарів на границі контакту мастики з поверхнею асфальтобетону, які впливають на зменшення міцності зчеплення мастики з нею. Величина показника міцності зчеплення бітумно-полімерних мастик з різними за походженням наповнювачами зростає зі зниженням температури його визначення.

Порівняльний аналіз впливу походження дрібнодисперсних наповнювачів на величину міцності зчеплення мастики з асфальтобетонною поверхнею показує (таблиця 4.13), що серед досліджених мастик найбільша міцність зчеплення властива мастиці з наповнювачем з індексом В, а найменша з наповнювачем із гумової крихти.

Таблиця 4.13 – Величина міцності зчеплення з асфальтобетонною поверхнею бітумно-полімерного герметика та мастик з різними за походженням наповнювачами з концентрацією 5 %

Вид наповнювача	Міцність зчеплення, МПа		
	Температура, °С		
	0	-10	-20
Без наповнювача	0,71	0,85	0,92
Індекс В	0,60	0,77	0,83
Індекс К	0,58	0,72	0,82
Індекс Г	0,56	0,67	0,75
Гумова крихта	0,50	0,65	0,75

Бітумно-полімерні мастики за впливом різних мінеральних наповнювачів на зменшення величини міцності зчеплення з асфальтобетонною поверхнею розташовуються у такій послідовності: мастика з індексом В, К та Г (таблиця 4.13). Отримані результати добре узгоджуються з результатами оцінювання величини дисперсності вказаних мінеральних наповнювачів (таблиця 3.5-3.7), які вказують на те, що мінеральний наповнювач з індексом В вміщує найменшу кількість зерен розміром менше 0,046 мм (67,9 %), середню кількість з індексом К (83,5 %), а найбільшу з індексом Г (99,5 %). Оскільки зі збільшенням дисперсності наповнювачів збільшується їхня питома поверхність і адсорбційна здатність, то наповнювач з найбільшою питомою поверхнею адсорбує з бітумно-полімерної мастики найбільшу кількість низькомолекулярних компонентів мальтенової частини і зменшує в цілому здатність мастики легко розтікатись і змочувати поверхню асфальтобетону. Очевидно, що це позначається на формуванні слабких граничних шарів і зниженні показника міцності зчеплення мастики з поверхнею асфальтобетону.

Частки гумової крихти як наповнювача мають рихлу структуру і здатні адсорбувати ще більшу кількість низькомолекулярних компонентів мальтенової частини мастики порівняно з мінеральними наповнювачами. Тому мастика з таким наповнювачем має ще меншу здатність легко розтікатись і змочувати поверхню асфальтобетону порівняно з мастиками з мінеральними наповнювачами. Відповідно, такій мастиці властива найменша міцність зчеплення з асфальтобетонною поверхнею в зоні тріщини.

4.4 Висновки по розділу

1. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що для приготування бітумно-полімерних герметиків та бітумно-полімерних мастик гарячого застосування придатні окислені нафтові дорожні бітуми як основний їхній матричний складник. За однакового вмісту складників

(пластифікатор, полімер, латекс), що додаються під час приготування бітумно-полімерних герметиків у окислені нафтові дорожні бітуми марок БНД 50/70 та БНД 70/100, марка бітуму досить помірно впливає на показники температури розм'якшення та еластичності отриманих композицій. Використання бітуму марки БНД 70/100 з нижчою порівняно з бітумом БНД 50/70 температурою розм'якшення та крихкості дещо більше позначається на показниках гнучкості при низьких температурах та penetрації бітумно-полімерного герметика.

2. Встановлено, що для зниження температури крихкості та гнучкості при низьких температурах в герметики та мастики необхідно вводити пластифікатор, а для підвищення теплостійкості – полімери класу термоеластопластів, латекси, дрібнодисперсні наповнювачі. Зі збільшенням вмісту пластифікатора у складі бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів їхня холодостійкість за критерієм гнучкості при низьких температурах на стрижні певного діаметру зростає.

3. Експериментально встановлено, що за однакового вмісту добавки полімеру типу стирол-бутадієн стирол у складі герметиків на основі окислених дорожніх бітумів марки БНД 50/70 та БНД 70/100 теплостійкість, за величиною температури розм'якшення, є дещо більшою для бітуму БНД 50/70 (коливається в межах від 4 до 6 °С, у залежності від вмісту пластифікатора).

4. Показано, що зі збільшенням концентрації мінеральних наповнювачів у складі бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу його температура розм'якшення, температура крихкості та показник гнучкості при низьких температурах зростають, а глибина занурення голки, дуктильність та еластичність зменшуються. За абсолютною величиною показник гнучкості бітумно-полімерного герметика при низьких температурах зменшується на 10 °С при введенні до його складу 15 % мінеральних дрібнодисперсних наповнювачів. Встановлено, що введення полімерів до матричного бітуму

забезпечує більший внесок у зростання теплостійкості за критерієм температури розм'якшення ніж насичення його дрібнодисперсними наповнювачами.

5. Зміна властивостей (гнучкість та температура розм'якшення) бітумно-полімерних мастик з різними наповнювачами після їхнього прогрівання зростає зі збільшенням вмісту наповнювачів у їхньому складі. При низькій концентрації наповнювачів вказані показники властивостей за абсолютною величиною зростають доволі помірно. Найменше старіння, оцінене одночасно за цими двома показниками, властиве мастиці, наповненій гумовою крихтою.

6. За результатами експериментальних досліджень встановлено закономірне зростання показника міцності зчеплення бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу з асфальтобетонною поверхнею тріщини при зниженні температури його визначення. Визначено, що величина температури поверхні асфальтобетонного покриття, за якої здійснюється герметизація тріщини, суттєво впливає на абсолютні значення зусилля відриву та міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетону. Показано, що характерною ознакою залежності міцності зчеплення від температури поверхні асфальтобетонного покриття, за якої здійснюється герметизація тріщини, є зростання абсолютної величини цього показника зі зниженням температури випробування.

7. Експериментально встановлено що зі збільшенням вмісту досліджуваних наповнювачів у складі бітумно-полімерної мастики гарячого застосування її міцність зчеплення з поверхнею асфальтобетону зменшується. Величина міцності зчеплення з поверхнею асфальтобетону бітумно-полімерних мастик з різними за походженням наповнювачами зростає зі зниженням температури її визначення.

8. Отримані результати дозволяють констатувати, що прогрівання поверхні асфальтобетонного покриття в зоні тріщини безпосередньо перед її

герметизацією сприяє утворенню більш міцних адгезійних зв'язків між нею та герметиком. Врахування встановлених закономірностей при призначенні технологічних температур виконання робіт з герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг забезпечить підвищення їх довготривалої роботи за низьких температур експлуатації.

9. Порівняльні дослідження фізико-механічних властивостей бітумно-полімерних герметиків та мастик свідчать про те, що виготовлені з вітчизняної бітумної сировини герметизуючі матеріали не поступаються імпортованим, а за теплостійкістю перевищують їх.

10. Результати досліджень, що викладені в четвертому розділі, опубліковані у наступних публікаціях [136-139].

РОЗДІЛ 5

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідно-виробничої перевірки та впровадження результатів досліджень в дорожньо-будівельних організаціях розроблені рекомендації щодо виконання робіт з герметизації тріщин в асфальтобетонних шарах покриття дорожніх одягів. Згідно з розробленими рекомендаціями виконано відпрацювання технологічних режимів герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів на автомобільних дорогах в Харківській, Волинській, Дніпропетровській, Рівненській, Львівській, Сумській та Чернігівській областях та загерметизовано 548 710,70 погонних метрів тріщин (акти впровадження наведено у додатку Б). Впроваджено у виробництво технологію приготування бітумно-полімерних герметиків та мастик гарячого застосування з високими показниками теплостійкості, холодостійкості та адгезійної активності по відношенню до поверхні асфальтобетонного шару покриття дорожніх одягів у зоні тріщини. Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес для підготовки фахівців на освітньо-кваліфікаційний рівень «Бакалавр» та «Магістр» за спеціальністю 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.

5.1 Рекомендації щодо технологій герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів

5.1.1 Сфера застосування

5.1.1.1 Ці рекомендації поширюються на технологію герметизації тріщин в асфальтобетонних шарах покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг загального користування України в усіх дорожньо-кліматичних районах України згідно з ДБН В.2.3-4.

5.1.1.2 Рекомендації регламентують вимоги до бітумно-полімерних мастик та герметиків гарячого застосування призначених для герметизації тріщин, конструктивні рішення ремонту тріщин в асфальтобетонних шарах покриття дорожнього одягу, особливості ремонту тріщин та контролю якості виконання робіт.

5.1.1.3 Ці рекомендації призначені для використання дорожніми підприємствами та організаціями, незалежно від форми їх власності, які виконують роботи з ремонту асфальтобетонних покриттів з тріщинами на автомобільних доріг загального користування.

5.1.1.4 Обов'язкові вимоги до якості продукції, які забезпечують безпеку для життя, здоров'я та майна населення, охорони навколишнього природного середовища, викладені в розділі 9.

5.1.2 Нормативні посилання

У цих рекомендаціях є посилання на такі нормативні документи:

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

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

ДСТУ Б А.3.2-12:2009 Системи вентиляційні. Загальні вимоги;

ДСТУ Б В.2.7-116-2002 (ГОСТ 30740-2000) Будівельні матеріали. Матеріали герметизуючі для швів аеродромних покриттів. Загальні технічні умови;

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

НПАОП 63.21-1.01-09 Правила охорони праці при будівництві, ремонті та утриманні автомобільних доріг і інших об'єктах дорожнього господарства;

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

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

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

НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні;

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

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (ССБП. 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);

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

СОУ 45.2-00018112-006:2005 Безпека дорожнього руху. Порядок огородження та організація дорожнього руху в місцях проведення дорожніх робіт з будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг;

5.1.3 Терміни та визначення понять

Нижче подано терміни, вжиті в цих рекомендаціях, та визначення позначених ними понять:

5.1.3.1 бітумно-полімерна мастика гарячого застосування

Матеріал, що застосовуються у гарячому стані та одержаний змішуванням окислених нафтових дорожніх бітумів, полімерів, пластифікаторів з наповнювачами і, за необхідності, іншими добавками, які забезпечують клеючу здатність.

5.1.3.2 герметик гарячого застосування

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-116.

5.1.3.3 гнучкість

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-116.

5.1.3.4 жолоб

Заглиблення на поверхні асфальтобетонного покриття прямокутного перерізу, створене нарізчиком швів за один прохід, яке проходить по тріщині.

5.1.4 Загальні положення

5.1.4.1 Основною причиною утворення тріщин в асфальтобетонних шарах покриттів являються розтягуючі напруження, що виникають в них у результаті дії навантажень від транспортних засобів та коливань температури. При спільному впливі вказаних факторів процес утворення тріщин в асфальтобетонних покриттях прискорюється.

5.1.4.2 Наявність тріщин в асфальтобетонних шарах покриттів прискорює проникнення води до матеріалів в шарах основи, яка може викликати передчасне руйнування конструкції дорожнього одягу. Для

максимального подовження терміну служби конструкції дорожнього одягу необхідно мінімізувати негативний вплив тріщин. Цього можна досягти шляхом герметизації тріщин.

5.1.4.3 Ремонт асфальтобетонного покриття рекомендується виконувати на ранній стадії утворення одинарної тріщини. Герметизація тріщин на ранній стадії їх виникнення дозволяє уникнути передчасного руйнування покриттів. Особливе значення має герметизація тріщин до початку осінньо-зимового періоду, оскільки проникнення води до шарів дорожнього одягу через тріщини у покритті та згодом у ґрунт земляного полотна прискорює передчасне їх руйнування. Найкращим періодом для ремонту тріщин є кінець літа – середина осені, коли температура покриття забезпечує розкриття тріщин на ширину між максимальною та мінімальною.

5.1.4.4 Сітку тріщин на асфальтобетонному покритті без деформацій рекомендується ремонтувати з використанням модифікованих латексом катіонних бітумних емульсій за струменево-ін'єкційною технологією, або влаштуванням поверхневої обробки з використанням модифікованих латексом бітумних катіонних емульсій та мінерального матеріалу фракції 2,5-5,0 мм.

5.1.4.5 Застосування ефективних бітумно-полімерних мастик або герметиків та конструктивних рішень при ремонті асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг з тріщинами дозволить підвищити довговічність покриття та збільшити міжремонтні строки служби дорожнього одягу, зменшити витрати на забезпечення необхідного експлуатаційного стану автомобільних доріг.

5.1.5 Вимоги до матеріалів

5.1.5.1 Бітумно-полімерні мастики та герметики повинні відповідати вимогам нормативних документів на них і випускатись у промисловому об'ємі.

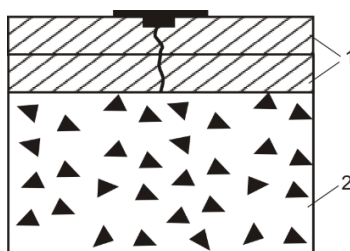
5.1.5.2 Бітумно-полімерні мастики та герметики за показниками властивостей повинні відповідати вимогам, наведеним у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вимоги до показників фізико-механічних властивостей

Назва показників властивостей	Вимоги до значення показника	Метод випробування
Пенетрація при 25 °С, 1/10 мм	понад 55 до 80	Згідно з ДСТУ EN1426
Температура розм'якшення, °С, не менше	90	Згідно з ДСТУ EN1427
Температура крижкості, °С, не вище	мінус 35	Згідно з ДСТУ EN12593
Еластичність при 25 °С, %, не менше	80	Згідно з ДСТУ Б В.2.7-135
Гнучкість на брусі діаметром 20 мм, °С, не вище	мінус 30	Згідно з ДСТУ Б В.2.7-116

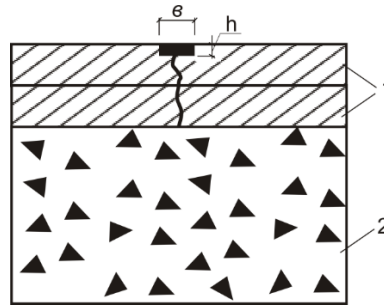
5.1.6 Конструктивні рішення ремонту тріщин в асфальтобетонних шарах покриття дорожнього одягу

5.1.6.1 Під час герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях можливо застосовувати конструктивні рішення, схематично наведені на рис. 5.1-5.3.



1 – асфальтобетонні шари, 2 – шари основи дорожнього одягу

Рисунок 5.1 – Герметизація тріщини заповненням створеного жолоба бітумно-полімерною мастикою або герметиком гарячого застосування з напуском герметизуючого матеріалу на поверхню асфальтобетонного покриття

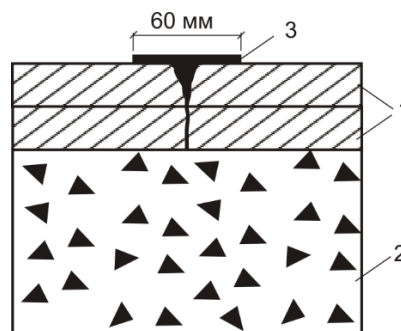


1 – асфальтобетонні шари, 2 – шари основи дорожнього одягу

Рисунок 5.2 – Герметизація тріщини заповненням створеного жолоба бітумно-полімерною мастикою або герметиком гарячого застосування без напуску герметизуючого матеріалу на поверхню асфальтобетонного покриття

5.1.7 Особливості технологій герметизації тріщин в асфальтобетонних шарах покриття дорожнього одягу

5.1.7.1 Технологія герметизації тріщин заповненням створеного жолоба бітумно-полімерною мастикою або герметиком гарячого застосування з напуском герметизуючого матеріалу на поверхню асфальтобетонного покриття забезпечує найбільшу герметичність тріщини та довговічність герметизуючого матеріалу у загерметизованій тріщині, порівняно з іншими рекомендованими конструктивними рішеннями. Вказана технологія рекомендується для герметизації тріщин шириною не більше ніж 20 мм.



1 – асфальтобетонні шари, 2 – шари основи дорожнього одягу, 3 – бітумно-полімерна мастика або герметик гарячого застосування

Рисунок 5.3 – Герметизація тріщини заповненням її бітумно-полімерною мастикою або герметиком гарячого застосування з напуском герметизуючого матеріалу на поверхню асфальтобетонного покриття без створення жолоба

5.1.7.1.1 Ширину жолоба в асфальтобетонному покритті, тобто заглиблення на поверхні асфальтобетонного покриття прямокутного або квадратного перерізу, яке проходить по тріщині, рекомендується створювати як мінімум на 10 мм ширшою за тріщину. Закруглене дно жолоба або V-подібна форма жолоба сприятиме швидкому відшаруванню герметика. З метою зменшення площі контакту герметизуючого матеріалу з шинами транспортних засобів та запобігання його витискання з жолоба максимальна ширина останнього повинна бути не більше ніж 30 мм.

5.1.7.1.2 При створенні жолоба шириною не більше ніж 25 мм рекомендується приймати відношення ширини (В) до глибини (h) рівним 1:1, а при створенні жолоба шириною більше ніж 25 мм рекомендується приймати $V:h = 2:1$. Залиті бітумно-полімерною мастикою або герметиком гарячого застосування жолоби шириною 30 мм та глибиною 15 мм, шириною 25 мм та глибиною 12 мм, або шириною 10 мм та глибиною 10 мм зазвичай служать добре.

5.1.7.1.3 Створення жолоба рекомендується виконувати на всю довжину тріщини з використанням нарізчиків швів із твердосплавними фрезерними дисками. Основною метою створення жолоба являється видалення рихлого окисленого шару асфальтобетону по ширині тріщини.

5.1.7.1.4 Після створення жолоба його необхідно очистити від пилу, залишків фрезерованого асфальтобетону та волоgi високошвидкісним потоком гарячого повітря із застосуванням «теплового списа», для забезпечення міцного зчеплення між герметизуючим матеріалом та стінками жолоба. Очищення можливо проводити також механічним способом з використанням обладнання з металевими щітками з наступним висушуванням жолоба та тріщини високошвидкісним потоком гарячого повітря. Необхідно також максимально видаляти залишки з поверхні покриття в зоні жолоба, щоб пил не потрапив до жолоба безпосередньо перед його заповненням герметизуючим матеріалом.

5.1.7.1.5 Температура стисненого повітря, що виходить з «теплового списа», повинна бути не більше ніж 500 °С для того, щоб можна було ефективно видалити вологу без перегрівання асфальтобетону в зоні жолоба. Перегрівання може викликати зниження міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетону у жолобі.

5.1.7.1.6 Для підвищення зчеплення бітумно-полімерної мастики або герметика з поверхнею асфальтобетону жолоб, перед його заповненням герметизуючим матеріалом, рекомендується обробити рідкою полімерною ґрунтовкою типу «Colzumix – Haftgrund», або іншим аналогічним матеріалом.

5.1.7.1.7 Заповнення створеного жолоба бітумно-полімерною мастикою або герметиком гарячого застосування з напуском герметизуючого матеріалу на поверхню асфальтобетонного покриття проводиться з використанням спеціальних плавильно-заливальних машин з розподільчою камерою у формі праски або прямокутника (без дна) шириною 50-60 мм. Плавильно-заливальні машини повинні забезпечувати: рівномірний нагрів усього об'єму бітумно-полімерної мастики або герметика і підтримку їх робочої температури, стабільну подачу герметизуючого матеріалу під тиском в тріщини з мінімальною втратою температури, постійний автоматизований контроль робочої температури герметизуючого матеріалу і роботи устаткування. Товщина герметизуючого матеріалу у напуску на асфальтобетонне покриття не повинна перевищувати 1-2 мм. На ділянках з ризиком відриву герметика від асфальтобетонного покриття під час снігоочищення, його слід заливати врівень з кромками. Для зменшення негативного впливу високої температури на властивості бітумно-полімерної мастики або герметика їх необхідно нагрівати до найнижчої температури, рекомендованої постачальником матеріалу. Наприклад, якщо рекомендована температура нагрівання герметизуючого матеріалу становить 175-195 °С, її слід нагрівати до температури 175 °С. Необхідно уникати тривалого

нагрівання бітумно-полімерної мастики, а також її повторного нагрівання. Використання плавильного котла з відносно малим резервуаром або заповнення резервуару бітумно-полімерною мастикою наполовину перешкоджатиме тривалому нагріванню.

5.1.7.1.8 Відразу після заповнення створеного жолоба бітумно-полімерною мастикою або герметиком гарячого застосування з напуском на поверхню асфальтобетонного покриття поверхню герметизуючого матеріалу присипають сухим піском або відсівом для унеможливлення прилипання до коліс транспортних засобів.

5.1.7.2 Герметизація тріщин заповненням створеного жолоба бітумно-полімерною мастикою або герметиком гарячого застосування без напуску герметизуючого матеріалу на поверхню асфальтобетонного покриття виконується у технологічній послідовності згідно з 5.1.7.1.1 – 5.1.7.1.6 та 5.1.7.18. Вказана технологія рекомендується для герметизації тріщин шириною не більше ніж 20 мм. Заповнення створеного жолоба герметизуючим матеріалом без його напуску на поверхню асфальтобетонного покриття проводиться з використанням спеціальних плавильно-заливальних машин з трубчатим наконечником на кінці штанги (без розподільчої камери) врівень з кромками.

5.1.7.3 Герметизацію тріщин заповненням їх бітумно-полімерною мастикою або герметиком гарячого застосування з напуском герметизуючого матеріалу на поверхню асфальтобетонного покриття без створення жолоба рекомендується на ділянках без ризику відриву герметика від асфальтобетонного покриття під час снігоочищення. Вказана технологія рекомендується для герметизації тріщин шириною не більше ніж 10 мм.

5.1.7.3.1 Перед герметизацією тріщину та поверхню асфальтобетонного покриття біля неї необхідно очистити від пилу, бруду та вологи високошвидкісним потоком гарячого повітря із застосуванням «теплого списа».

5.1.7.3.2 Відразу після очищення та нагрівання поверхні асфальтобетонного покриття у зоні тріщини виконують нанесення бітумно-полімерної мастики або герметика гарячого застосування на поверхню покриття у зоні тріщини за допомогою спеціальних плавильно-заливальних машин з розподільчою камерою у формі праски або прямокутника (без дна) шириною 50-60 мм. При цьому тріщина повинна знаходитись посередині розподільчої камери. Товщина герметизуючого матеріалу у напуску на асфальтобетонне покриття не повинна перевищувати 1-2 мм.

5.1.7.3.3 Відразу після герметизації тріщини поверхню розподіленого герметизуючого матеріалу присипають сухим подрібненим піском або відсівом для унеможливлення прилипання до коліс транспортних засобів.

5.1.8 Контроль якості виконання робіт

5.1.8.1 Якість виконання робіт з герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях на автомобільних дорогах визначається відповідністю герметизуючих матеріалів за фізико-механічними властивостями вимогам ДСТУ Б В.2.7-116 та таблиці 5.1 цих рекомендацій. Супровідні документи на герметизуючі матеріали повинні містити необхідний перелік приймально-здавальних та періодичних випробувань, а також методи випробувань.

5.1.8.2 Якість робіт контролюється на кожному технологічному етапі з відповідним записом у робочому журналі виконання робіт.

5.1.8.3 Кожна партія герметизуючих матеріалів повинна супроводжуватися паспортом або іншим документом, що засвідчує його якість, в якому вказують: найменування і адресу підприємства-виготовлювача; номер партії і дату її виготовлення; найменування і марку герметизуючого матеріалу; термін придатності герметизуючого матеріалу; результати приймально-здавальних, періодичних випробувань і методи випробувань; позначення нормативного або технічного документу, за яким виготовляють даний герметизуючий матеріал і контролюють його якість.

5.1.8.4 До документу про якість повинна додаватися інструкція щодо особливостей технології застосування герметизуючого матеріалу і правила техніки безпеки при виконанні робіт.

5.1.9 Вимоги безпеки та охорони навколишнього природного середовища

5.1.9.1 Вимоги безпеки

5.1.9.1.1 При виконанні робіт з герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків гарячого застосування 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, ГОСТ 12.1.005.

5.1.9.1.2 Мінеральні матеріали, що застосовуються для ремонту тріщин (пісок та відсів) за ступенем шкідливої дії на організм людини відносяться до мало небезпечних речовин (III-IV) класів безпеки згідно з ГОСТ 12.1.007. Під час завантаження, транспортування та розвантаження необхідно керуватись загальними правилами техніки безпеки при роботі з нетоксичними та малотоксичними речовинами.

5.1.9.1.3 Бітумно-полімерні мастики або герметики (герметизуючі матеріали) є горючими речовинами з температурою займання (300 – 351 °С). При роботі з ними необхідно дотримуватись вимог безпеки згідно з НАПБ А.01.001, ГОСТ 12.1.004 та ДСТУ 4044. При загорянні невеликої кількості герметизуючих матеріалів їх треба гасити піском або пінним вогнегасником. Розвинуті пожежі герметизуючих матеріалів треба гасити пінним струменем, повітряно-механічною піною та сильним струменем від лафетних стволів.

5.1.9.1.4 Приміщення, де проводяться роботи з герметизуючими матеріалами повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією

згідно зі СНиП 2.04.05, ДСТУ Б А.3.2-12.

5.1.9.1.5 Робітники, які займаються приготуванням і застосуванням герметизуючих матеріалів для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях повинні бути забезпечені спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 63.21-3.03.

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

5.1.9.1.7 При потраплянні герметизуючих матеріалів: на шкіру (настільки гарячих, що може з'явитися опік) – її треба швидко охолодити, тоді розчинити герметизуючий матеріал 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.

5.1.9.1.8 До початку робіт з герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях необхідно огородити ділянку робіт, спрямувати рух транспортних засобів в об'їзд, позначити безпечну зону для людей, зайнятих при виконанні робіт згідно з вимогами СОУ 45-2-00018112-006.

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

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

5.1.9.1.11 До робіт, пов'язаних з приготуванням і використанням герметизуючих матеріалів, 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.

5.1.9.2 Вимоги охорони навколишнього природного середовища

5.1.9.2.1 В процесі приготування та застосування герметизуючих матеріалів при дотриманні технологічних параметрів і вимог охорони праці небезпека додаткових викидів шкідливих речовин в навколишнє природне середовище відсутня.

5.1.9.2.2 При зберіганні, транспортуванні і застосуванні герметизуючих матеріалів стічні води не утворюються. За технологічної температури (120-190) °С не передбачається надходження канцерогенних та мутагенних речовин в навколишнє середовище.

5.1.9.2.3 Ефективними засобами захисту довкілля є герметизація та запобігання розливу герметизуючих матеріалів.

5.1.9.2.4 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.

5.1.9.2.5 Порядок накопичення, транспортування, знешкодження та поховання розливів герметизуючих матеріалів, розсипаних мінеральних матеріалів, некондиції та інших відходів, що утворюються в процесі приготування і використання, повинен відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.7.029.

5.1.9.2.6 Бази по приготуванню герметизуючих матеріалів повинні бути устатковані відповідно до вимог ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.3.002, ДСП 173.

5.2 Впровадження результатів дослідження

Комплекс досліджень у виробничих умовах щодо приготування бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів та їх використання під час виконання робіт з герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття

дорожніх одягів нежорсткого типу проводився протягом 7 років, починаючи з 2013 року.

В 2013 році на виробничих площах публічного акціонерного товариство «Шляхове ремонтно-будівельне управління № 33» у змішувачі планетарного типу було виготовлено дослідно-експериментальну партію бітумно-полімерного герметика гарячого застосування об'ємом $2,5 \text{ м}^3$. Схема змішувача планетарного типу, на якому виконано випуск дослідної партії бітумно-полімерного герметика, наведена на рис. 5.4, а загальний вигляд планетарного механізму на рис. 5.5.

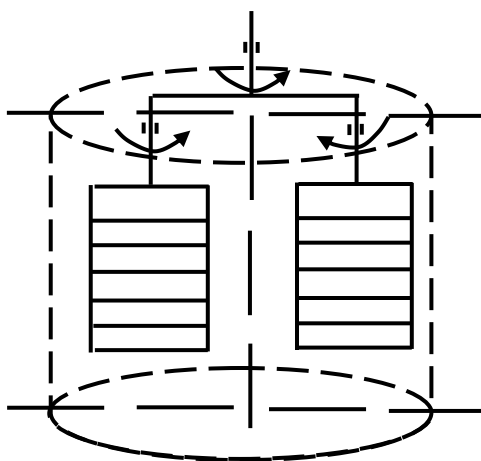


Рисунок 5.4 – Схема змішувача планетарного типу



Рисунок 5.5 – Загальний вигляд планетарного механізму мішалки

До складу виготовленого бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу входили такі компоненти: бітум нафтовий дорожній окислений марки БНД 90/130 – 70 %; пластифікатор – 17 %; полімер марки «KRATON D-1101 CM» – 8 %; водний катіонний латекс марки «Butonal NS 198» – 5 %.

Результати лабораторних випробувань властивостей виготовленого бітумно-полімерного герметика наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Властивості бітумно-полімерного герметика, виготовленого у мішалці планетарного типу

Найменування показника	Фактичні значення
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °C	106
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °C, мм ⁻¹	68
Дуктильність за температури 25 °C, см	67
Еластичність, %	98
Температура крижкості, °C	> -40
Гнучкість на стрижні діаметром 20 мм, °C	> -35
Щільність, кг/м ³	980

Виготовлений бітумно-полімерний герметик у подальшому був використаний для лабораторних досліджень впливу різних за походженням наповнювачів на властивості отримуваних мастик на його основі, а також для експериментального відпрацювання у виробничих умовах технологічних режимів процесу герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів на дорогах загального користування.

За результатами відпрацьованих технологічних режимів герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів були розроблені рекомендації Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій

ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», за якими у подальшому виконувались вказані роботи у виробничих умовах.

Протягом 2014-2019 років ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» виконувало за розробленими рекомендаціями роботи з герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів в різних регіонах України. За цей період було загерметизовано тріщини в асфальтобетонних покриттях на автомобільних дорогах державного значення М-06 «Київ-Чоп» на ділянці км 322+000 – км 348+000, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 34 128 пог. м, замовник представництво «ВАТ «ЄВРО-АЗІАТСЬКА БУДІВЕЛЬНА КОРПОРАЦІЯ «ЄВРАСКОН», 2014 р.; М-06 «Київ-Чоп» на ділянці км 348+000 – км 441+637, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 148 264 пог. м, замовник Представництво «Тодіні Конструкції Джeneralі С.П.А.», 2014 р.; М-06 «Київ-Чоп» на ділянці км 434+230 – км 621+500, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 84 223 пог. м, замовник ТОВ «Egis Ukraine», 2015 р.; М-01 «Київ-Чернігів-Нові Яриловичі (на Гомель)» на ділянці км 61+160 – км 224+326, південний під'їзд до м. Чернігів, км 0+000 – км 12+805, північний під'їзд до м. Чернігів, км 0+000 – км 0+934, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 19 787 пог. м, замовник Служба автомобільних доріг у Чернігівській області, 2018 р.; М-03 «Київ-Харків-Довжанський» на ділянці км 0+395 – км 0+646; М-03 «Київ-Харків-Довжанський» на ділянці під'їзд до Міжнародного аеропорту «Харків» км 0+000 – км 14+100 (окремими ділянками); М-18 «Харків-Сімферополь-Алушта-Ялта» на ділянці під'їзд до Міжнародного аеропорту «Харків» км 0+000 – км 8+100 (окремими ділянками), загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 35 645 пог. м, замовник Служба автомобільних доріг у Харківській області, 2019 р.; М-07 «Київ-Ковель-Ягодин» в межах Волинської області, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 49 650 пог. м, замовник

Служба автомобільних доріг у Волинській області, 2019 р.; М-02 «Кіпті-Глухів-Бачівськ (на м. Брянськ)» на ділянці км 145+435 – км 169+000, км 208+000 – км 217+500, км 240+00 – км 243+000, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 23 753 пог. м, замовник ДП «Сумський облавтодор» ВАТ «Автомобільні дороги України», 2019 р.

Також у 2018 році було впроваджено результати дисертаційного дослідження на регіональній автомобільній дорозі Р-56 «Чернігів-Пакуль-КПП «Славутич»-Чорнобиль (з під'їздом до м. Славутич)» на ділянках км 6+000 – км 50+900, під'їзд до м. Славутич км 0+000 – км 13+648, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 10 677,5 пог. м, замовник Служба автомобільних доріг у Чернігівській області.

В період з 2016 по 2017 роки результати дисертаційного дослідження було впроваджено при виконанні робіт з герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів на вулично-дорожній мережі міста Кривий Ріг (пр-т. Миру, вул. Лермонтова, пр-т. Гагаріна, пр-т. Гагаріна, вул. Купріна, пр-т Металургів, вул. Волгоградська, вул. Володимира Бизова), загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 71 494,2 пог. м, замовник ТОВ «Вестшляхбуд».

Результати моніторингу експлуатаційного стану загерметизованих тріщин показали, що руйнувань протягом 2,5-3,0 років до влаштування нових шарів підсилення конструкцій дорожнього одягу зафіксовано не було.

У 2020 році фахівці ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» продовжили проведення аналогічних робіт з герметизації тріщин на автомобільних дорогах в Харківській області, протяжність загерметизованих тріщин складає 40 610 пог. м; Сумської області, протяжність загерметизованих тріщин складає 11 862 пог. м; Волинської області, протяжність загерметизованих тріщин складає 16 340 пог. м; а також при поточному ремонті прилеглої території ТОВ «СМЕНА», де протяжність загерметизованих тріщин складає 2277 пог. м.

Загальна протяжність загерметизованих тріщин за період з 2014 по 2020 роки включно складає 548 710,7 пог. м.

Як приклад, нижче наведено послідовність технологічних операцій при виконанні робіт з герметизації тріщин на автомобільній дорозі державного значення М-03 «Київ-Харків-Довжанський».

Загальний вигляд поверхні асфальтобетонного шару покриття дорожнього одягу до початку виконання робіт з герметизації тріщин, наведено на рис. 5.6.



Рисунок 5.6 – Загальний вигляд поверхні асфальтобетонного шару покриття до початку виконання робіт з герметизації тріщин

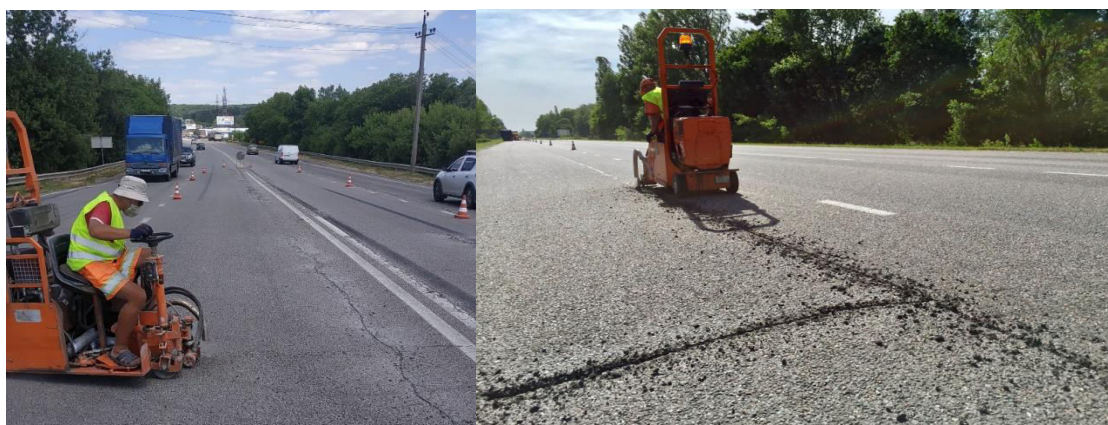


Рисунок 5.7 – Виконання технологічної операції з нарізання жолоба в асфальтобетонному шарі покриття по абрису тріщин з використанням самохідного наріжчика із зубчастим диском



Рисунок 5.8 – Загальний вигляд робочого органу самохідного наріжчика
жолоба



Рисунок 5.9 – Технологічна операція прочищення, висушування і
нагрівання поверхні асфальтобетону в зоні жолоба струменем гарячого
повітря під тиском з використанням «теплого списа»



Рисунок 5.10 – Загальний вигляд жолоба відразу після застосування
«ТЕПЛОВОГО СПИСА»



(a)



(б)



(в)

Рисунок 5.11 – Виконання технологічної операції заповнення створеного та прогрітого жолоба (а) без напуску (б) та з напуском (в) герметизуючого матеріалу на поверхню асфальтобетонного покриття



Рисунок 5.12 – Загальний вигляд тріщин відразу після герметизації без напуску герметика на поверхню асфальтобетонного покриття



Рисунок 5.13 – Виконання технологічної операції присипання свіжозагерметизованої тріщини піском



Рисунок 5.14 – Загальний вигляд свіжозагерметизованих та присипаних піском тріщин



Рисунок 5.15 – Загальний вигляд загерметизованої тріщини через дві доби після герметизації

У 2020 році з використанням виробничих потужностей ТОВ «НПО Сварог» була впроваджена технологія приготування бітумно-полімерного герметика з використанням мішалки конструкції заводу «Кредмаш» моделі ДС 1631, а також бітумно-полімерної мастики гарячого застосування з використанням котла-змішувача «Hofmann НК-1000-1». Загальний вигляд виробничого вузла з приготування бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів та процесу розфасовування герметика і мастики наведено на рис. 5.16.

Властивості виготовлених в промислових умовах бітумно-полімерного герметика та бітумно-полімерної мастики наведені в таблиці 5.3.



Рисунок 5.16 – Загальний вигляд виробничого вузла об'єднання складників бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів та процесу розфасовування герметика і мастики

Таблиця 5.3 – Властивості бітумно-полімерного герметика та мастики, виготовлених на виробничих потужностях ТОВ «НПО Сварог»

Найменування показника	Фактичні значення	
	Герметик	Мастика
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, мм ⁻¹	96	79
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	96	98
Еластичність, %	99	99
Температура крихкості, °С	Мінус 40	Мінус 40
Гнучкість на стрижні діаметром 30 мм за температури мінус 30 °С	витримав	витримала

Порівняння властивостей виготовленої ТОВ «НПО Сварог» мастики та герметика з закордонними мастиками та герметиками гарячого застосування показує, що бітумно-полімерні герметизуючі матеріали українського виробництва не поступаються їм за показниками досліджених властивостей, а за окремими навіть перевищують.

Довідки про впровадження результатів дослідження наведені в додатку Б.

5.3 Розробка нормативно-технічних документів

Отримані результати досліджень в процесі виконання дисертаційної роботи, а також під час науково-технічного супроводу робіт з приготування бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування та їх використання для герметизації тріщин на автомобільних дорогах загального користування та на мережі міських доріг та вулиць, були використані для розроблення наступних нормативно-технічних документів:

1. Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків»;
2. ДСТУ Б В.2.7-136:2016 «Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги»;
3. ДСТУ 8873:2019 «Автомобільні дороги. Настанова з герметизації тріщин».

Розроблені рекомендації внесені в фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) і використовуються проектними та будівельними і експлуатаційними організаціями при виконанні робіт з ремонтів асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг. Розроблені державні стандарти прийняті та затверджені Національним органом зі стандартизації України.

Після надання Національним органом зі стандартизації України чинності розробленим державним стандартам, їх використовують в дорожній галузі під час виконання робіт, пов'язаних з приготуванням бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів та їх використанням для герметизації тріщин в асфальтобетонних шарах покриття дорожніх одягів автомобільних доріг.

Довідки про впровадження результатів дослідження наведені в додатку Б.

5.4 Оцінка економічної ефективності технології герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів

Практика ремонтних робіт показує, що герметизація тріщин на ранній стадії їх утворення дозволяє уникнути передчасного руйнування асфальтобетонного шару покриття дорожнього одягу і суттєво подовжити строк його експлуатації. Вибоїни є поширеним другорядним видом руйнувань асфальтобетонного покриття в зоні невчасно загерметизованих тріщин. Ремонт вибоїн є більш матеріалоємким і значно дорожчим ніж герметизація тріщин на початковій стадії їх утворення.

Економічний ефект від своєчасної ліквідації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожніх одягах, при виконанні ремонтних робіт (за рахунок попередження подальшого розвитку пошкоджень усієї конструкції дорожніх одягів), визначається за наступною формулою:

$$E_1 = (C_1 - C_2), \quad (5.1)$$

де C_1 – собівартість герметизації тріщин з використанням бітумно-полімерної мастики, грн. / 1000 пог. м;

C_2 – собівартість герметизації тріщин з використанням бітумно-полімерного герметика, грн. / 1000 пог. м;

Собівартості герметизації тріщин з використанням бітумно-полімерної мастики і бітумно-полімерного герметика визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_{н1} \cdot (1 + \Delta h_1), \\ C_2 &= C_{н2} \cdot (1 + \Delta h_2), \end{aligned} \quad (5.2)$$

де $C_{н1}$ – нормативна собівартість герметизації тріщин з використанням бітумно-полімерної мастики гарячого застосування, грн. / 1000 пог. м;

$C_{н2}$ – нормативна собівартість ремонту тріщин з використанням бітумно-полімерного герметика гарячого застосування, грн. / 1000 пог. м;

Δh_1 та Δh_2 – відносна ймовірність втрати герметизуючим матеріалом міцності зчеплення з торцевими асфальтобетонними поверхнями в тріщині, відповідно, при використанні бітумно-полімерної мастики та при використанні бітумно-полімерного герметика, в частках одиниці.

За результатами порівняльних лабораторних досліджень (таблиця 4.13) міцності зчеплення герметика та мастик з асфальтобетонною поверхнею видно, що значення вказаного показника за температури мінус 20 °С для мастики з мінеральним наповнювачем (індекс Г) та наповнювачем з гумової крихти у кількості 5 % за масою становить 0,75 МПа, що вказує на ймовірність відриву досліджуваних мастик від асфальтобетонної поверхні до 0,25 одиниць.

У випадку використання бітумно-полімерного герметика гарячого застосування значення вказаного показника становить 0,92 МПа, за аналогічних умов випробування, що вказує на ймовірність відриву герметика від асфальтобетонної поверхні до 0,08 одиниць.

Визначення вартості герметизації тріщин за технологією, що передбачає використання бітумно-полімерної мастики виконуємо за ресурсними елементними кошторисними нормами [140] (група 2-28 та 2-31). Витрати бітумно-полімерної мастики на 100 пог. м герметизації тріщини становлять 34,85 кг за [140] п. 3.22.

Результати розрахунків надані в таблицях 5.4-5.6.

Таблиця 5.4 – Ресурсні елементні кошторисні норми на 100 пог. м

Шифр ресурсу	Найменування ресурсу	Одиниця вимірювання	Норма часу
1	Витрати праці робітників-будівельників	люд-год	3,07
2	Середній розряд робіт	-	3,6
3	Витрати праці машиністів	люд-год	0,63
3.1	Витрати праці машиністів	люд-год	2,44
Машини і механізми			
212-1303.2	Установки Crafc0 PC-200	маш-год	0,63
212-0600/1	Машини плави́льно-залива́льні Crafc0 Super Shof 125 DCRC	маш-год	0,64
200-0002	Автомобілі бортові	маш-год	0,64
Матеріали			
П	Мастика герметизувальна будівельна	кг	34,85

Таблиця 5.5 – Відомість ресурсів до локального кошторису (форма №4а)

№	Шифр ресурсу	Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Поточна ціна за одиницю вимірювання	У тому числі		
						Відпускна ціна, грн	Транспортна складова, грн	Заготівельно-складські витрати, грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Витрати праці								
1	1	Витрати праці робітників-будівельників	люд-год	3,07	45,25	-	-	-
2	2	Середній розряд робіт, що виконуються робочими будівельниками	розряд	3,6	-	-	-	-
3	3	Витрати праці робітників, зайнятих управлінням і обслуговуванням машин	люд-год	3,07	48,75	-	-	-
4	-	Середній розряд ланки робітників, зайнятих управлінням і обслуговуванням машин	розряд	3,7	-	-	-	-
5	-	Витрати праці працівників, заробітна плати яких враховується в загальновиробничих витратах	люд-год	0,65	50,90	-	-	-
		Разом кошторисна трудомісткість	люд-год	6,79	-	-	-	-
		Середній розряд робіт	розряд	3,65	-	-	-	-
II. Будівельні машини і механізми								
1	200-0002	Автомобілі бортові	маш-год	0,64	69,15	-	-	-
2	212-1303.2	Установки Crafc0 PC-200	маш-год	0,63	404,30	-	-	-
3	212-0600/1	Машини плавильно-заливальні Crafc0 Super Shof 125 DCRC	маш-год	0,64	238,70	-	-	-
III. Будівельні матеріали, вироби і конструкції								
1	-	Мастика герметизуюча будівельна	т	0,0348	41282,11	40472,66	-	809,45

Таблиця 5.6 – Локальний кошторис (форма №4)

№	Шифр і номер позиції нормативу	Найменування робіт і витрат, одиниця вимірювання	Кількість	Вартість одиниці, грн		Загальна вартість, грн			Витрати праці робочих, люд-год не зайнятих на обслуговуванні машин. Витрати праці машиніста	
				Всього	Експлуатація машин, в тому числі заробітна плата	Всього	Заробітна плата	Експлуатація машин, в тому числі заробітна плата	На одиницю	Всього
1	200-0002	Транспортування мастики до місця виконання робіт	10	44,26	44,26	442,6	-	442,6	-	-
					1,86			18,6		
2	212-1303.2	Транспортування установки Crafcso PC-200, розробка та прочистка швів	10	254,71	254,71	2547,1	-	2547,1	-	-
					55,68			556,8		
3	212-0600 /1	Буксування машини плавильно-заливальної Crafcso Super Shof 125 DCRC, продування та заповнення швів мастикою	10	1589,39	152,77	15893,9	-	1527,7	-	-
					15,3			153,0		
Разом прямі витрати, грн						17508,67	728,40	4516,9 728,4	- 6,79	- 67,90
У тому числі: вартість матеріалів, виробів і конструкцій						14366,2				
Всього заробітна плата							878,06			
Загальновиробничі витрати						330,8				
Трудомісткість в загальновиробничих витратах										6,5
Заробітна плата в загальновиробничих витратах							41,74			
Всього по кошторису						17839,52				
Кошторисна трuдомісткість										74,40
Кошторисна заробітна плата							919,8			

Вартість герметизації тріщин з використанням бітумно-полімерного герметика визначали за ресурсними елементними кошторисними нормами [140] (група 2-28 та 2-31). Результати розрахунків надані в таблицях 5.7-5.9. Витрати герметика на 100 пог. м герметизації тріщини становлять 34,85 кг згідно з [140] п. 3.22.

Таблиця 5.7 – Ресурсні елементні кошторисні норми на 100 пог. м

Шифр ресурсу	Найменування ресурсу	Одиниця вимірювання	Норма часу
1	Витрати праці робітників-будівельників	люд-год	3,07
2	Середній розряд робіт	-	3,6
3	Витрати праці машиністів	люд-год	0,63
3.1	Витрати праці машиністів	люд-год	2,44
Машини і механізми			
212-1303.2	Установки Crafcو PC-200	маш-год	0,63
212-0600/1	Машини плави́льно-залива́льні Crafcو Super Shof 125 DCRC	маш-год	0,64
200-0002	Автомобілі бортові	маш-год	0,64
Матеріали			
П	Бітумно-полімерний герметик	кг	34,85

Таблиця 5.8 – Відомість ресурсів до локального кошторису (форма № 4а)

№	Шифр ресурсу	Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Поточна ціна за одиницю вимірювання	У тому числі		
						Відпускна ціна, грн	Транспортна складова, грн	Заготівельно-складські витрати, грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Витрати праці								
1	1	Витрати праці робітників-будівельників	люд-год	3,07	45,25	-	-	-
2	2	Середній розряд робіт, що виконуються робочими будівельниками	розряд	3,6	-	-	-	-
3	3	Витрати праці робітників, зайнятих управлінням і обслуговуванням машин	люд-год	3,07	48,75	-	-	-
4	-	Середній розряд ланки робітників, зайнятих управлінням і обслуговуванням машин	розряд	3,7	-	-	-	-
5	-	Витрати праці працівників, заробітна плати яких враховується в загальновиробничих витратах	люд-год	0,65	50,90	-	-	-
		Разом кошторисна трудомісткість	люд-год	6,79	-	-	-	-
		Середній розряд робіт	розряд	3,65	-	-	-	-
II. Будівельні машини і механізми								
1	200-0002	Автомобілі бортові	маш-год	0,64	69,15	-	-	-
2	212-0102	Установки Crafc0 PC-200	маш-год	0,63	404,30	-	-	-
3	212-0906	Машини плавлення-заливальні Crafc0 Super Shof 125 DCRC	маш-год	0,64	238,70	-	-	-
III. Будівельні матеріали, вироби і конструкції								
1		Бітумно-полімерний герметик	т	0,0348	42257,23	41428,66	-	828,57

Таблиця 5.9 – Локальний кошторис (форма №4)

№	Шифр і номер позиції нормативу	Найменування робіт і витрат, одиниця вимірювання	Кількість	Вартість одиниці, грн		Загальна вартість, грн			Витрати праці робочих, люд-год не зайнятих на обслуговуванні машин. Витрати праці машиніста	
				Всього	Експлуатація машин, в тому числі заробітна плата	Всього	Заробітна плата	Експлуатація машин, в тому числі заробітна плата	На одиницю	Всього
1	200-0002	Транспортування мастики до місця виконання робіт	10	44,26	44,26	442,6	-	442,6	-	-
					1,86			18,6		
2	212-1303.2	Транспортування установки Crafcro PC-200, розробка та прочистка швів	10	254,71	254,71	2547,1	-	2547,1	-	-
					55,68			556,8		
3	212-0600 /1	Буксування машини плавильно-заливальні Crafcro Super Shof 125 DCRC, продування та заповнення швів мастикою	10	1623,32	152,77	16233,2	-	1527,7	-	-
					15,3			153,0		
Разом прямі витрати, грн						19222,90	728,40	4516,9728,4	-6,79	-67,9
У тому числі: вартість матеріалів, виробів і конструкцій						14705,51				
Всього заробітна плата							878,06			
Загальновиробничі витрати						330,85				
Трудомісткість в загальновиробничих витратах										6,5
Заробітна плата в загальновиробничих витратах							41,74			
Всього по кошторису						19553,75				
Кошторисна трудомісткість										74,40
Кошторисна заробітна плата							919,8			

Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту від впровадження технології герметизації тріщин бітумно-полімерними герметиками наведені у таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Вихідні дані для розрахунку

Показники	Позначення	Чисельне значення
Нормативна собівартість ремонту тріщин бітумно-полімерною мастикою, грн./1000 пог. м	$C_{н1}$	17839,52
Відносна ймовірність втрати герметичності при використанні бітумно-полімерної мастики для ремонту тріщин	Δh_1	0,25
Відносна ймовірність втрати герметичності при використанні бітумно-полімерного герметика для ремонту тріщин	Δh_2	0,08
Нормативна собівартість ремонту тріщин бітумно-полімерним герметиком, грн./1000 пог. м	$C_{н2}$	19553,75

$$C_1 = 17839,53 \cdot (1 + 0,25) = 22299,42 \text{ грн./1000 пог. м;}$$

$$C_2 = 19553,75 \cdot (1 + 0,08) = 21118,05 \text{ грн./1000 пог. м;}$$

$$E_1 = (22299,42 - 21118,05) = 1181,36 \text{ грн./1000 пог. м;}$$

Таким чином, економічний ефект від застосування бітумно-полімерного герметика гарячого застосування для герметизації тріщин становить 1181 гривень 36 копійок на 1000 пог. м.

5.5 Висновки по розділу

1. Результати виконаних досліджень у виробничих умовах свідчать про те, що герметизація тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу на початковій стадії їх утворення продовжує термін його експлуатації впродовж не менше 2,5-3,0 років без руйнувань в зоні тріщини.

2. Розроблено, апробовано та впроваджено у виробничих умовах рекомендації щодо технології герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Впроваджено у виробництво

технологію приготування бітумно-полімерних герметиків та бітумно-полімерних мастик гарячого застосування на основі нафтових окислених дорожніх бітумів з високими показниками теплостійкості, холодостійкості та адгезійної активності по відношенню до поверхні асфальтобетону шару покриття дорожніх одягів у зоні тріщини. Бітумно-полімерні герметизуючі матеріали українського виробництва за властивостями не поступаються герметизуючим матеріалам закордонного виробництва.

3. Результати дисертаційного дослідження були використані під час розроблення для дорожньої галузі України таких нормативно-технічних документів як Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків»; ДСТУ Б В.2.7-136:2016 «Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги»; ДСТУ 8873:2019 «Автомобільні дороги. Настанова з герметизації тріщин». На сьогодні розроблені нормативно-технічні документи використовують дорожньо-експлуатаційні організації для приготування бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів та виконання робіт з ремонту дорожніх одягів автомобільних доріг.

4. Визначена економічна ефективність технології герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Показано, що використання бітумно-полімерного герметика гарячого застосування для герметизації тріщин в асфальтобетонному покриття дорожнього одягу дозволяє економити 1181,36 грн. на 1000 пог. м, порівняно з використанням для вказаних робіт бітумно-полімерної мастики гарячого застосування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено можливість формування структури, яка забезпечує одночасно високу холодостійкість, еластичність, теплостійкість та міцність зчеплення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування з торцевими поверхнями тріщини в асфальтобетонному покритті дорожніх одягів в експлуатаційному діапазоні температур. Показано, що холодостійкість та теплостійкість бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів визначається вмістом мальтенової частини у вихідному матричному бітумі, вмістом пластифікуючого та полімерного складників, а також дрібнодисперсних наповнювачів. Основним чинником, що впливає на довготривалу водонепроникність загерметизованих тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу, є здатність бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу утворювати міцні адгезійні зв'язки з торцевою поверхнею асфальтобетону в тріщині.

2. Експериментально досліджено закономірності впливу вмісту та марочної в'язкості окисленого нафтового дорожнього бітуму, концентрації полімерів класу термоеластопластів, пластифікатора та різних за походженням наповнювачів на показники властивостей бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування. Показано, що зниження температури крихкості та гнучкості термопластичних бітумно-пластичних герметизуючих матеріалів при низьких температурах забезпечується збільшенням вмісту пластифікуючого складника у вихідному матричному бітумі. Встановлено, що збільшенням вмісту полімеру класу термоеластопластів та катіонного латексу у складі пластифікованого матричного бітуму досягається підвищення еластичності та теплостійкості бітумно-полімерного герметика за критерієм температури розм'якшення.

3. Показано, що зі збільшенням концентрації дрібнодисперсних наповнювачів у складі бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу його температура розм'якшення та щільність зростають. Одночасно збільшення вмісту наповнювачів викликає погіршення показників холодостійкості та еластичності мастик. Встановлено, що інтенсивність зменшення дуктильності, еластичності та холодостійкості герметизуючих матеріалів більшою мірою зростає при збільшенні у їхньому складі вмісту дрібнодисперсних мінеральних наповнювачів ніж подрібненої гумової крихти. Експериментальними дослідженнями встановлено, що введення полімерів до матричного бітуму забезпечує більший внесок у зростання теплостійкості за критерієм температури розм'якшення ніж подальше насичення отриманої композиції дрібнодисперсними наповнювачами.

4. Розроблено методику експериментального визначення міцності зчеплення герметизуючих матеріалів гарячого застосування з поверхнею асфальтобетону за методом рівномірного відривання адгезиву від субстрату. За розробленою методикою експериментально досліджено закономірності впливу температури поверхні асфальтобетону в зоні тріщини під час її герметизації та складу бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів на міцність зчеплення між ними. Встановлено закономірне зростання міцності зчеплення бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів з асфальтобетонною поверхнею в тріщині при збільшенні її температури шляхом нагрівання безпосередньо перед герметизацією. Це досягається завдяки зменшенню негативного впливу слабких граничних шарів на міцність адгезивних зв'язків. Дослідженнями встановлено, що зі збільшенням вмісту наповнювачів у складі бітумно-полімерних герметизуючих мастик гарячого застосування їх міцність зчеплення з поверхнею асфальтобетону в тріщині зменшується.

5. Здійснено впровадження результатів експериментальних досліджень у виробничих умовах під час виконання робіт з санації тріщин в

асфальтобетонному покритті дорожніх одягів автомобільних доріг у Волинській, Чернігівській, Харківській, Львівській, Дніпропетровській, Рівненській, Сумській областях, на міських дорогах та вулицях (загальна протяжність герметизованих тріщин за період з 2014 по 2020 рік складає 548 710,70 м.п.), а також у навчальний процес Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Результати дисертаційного дослідження впроваджені під час розроблення для дорожньої галузі України двох державних стандартів – ДСТУ Б В.2.7-136:2016 «Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги», ДСТУ 8873:2019 «Автомобільні дороги. Настанова з герметизації тріщин», а також галузевих рекомендацій Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», які використовуються дорожніми підприємствами під час приготування бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів та виконанні робіт з санації тріщин. Впроваджено у виробництво технологію приготування бітумно-полімерних герметиків та мастик гарячого застосування з високими показниками теплостійкості, холодостійкості та адгезійної активності по відношенню до поверхні асфальтобетону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Asphalt Crack Sealing Practices and Processes [Електронний ресурс] / Stantec Consulting Ltd. Regina, Saskatchewan. 2013. 186 p. URL: <http://docplayer.net/65373766-Asphalt-crack-sealing-practices-and-processes.html>
2. Freitas, E., Pereira, P., Picado-Santos, L., Pais, J. Assessment of Top-Down Cracking Causes in Asphalt Pavements [Електронний ресурс] / Third International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Tecnological Control. Guimarães, Portugal, 2003. 10 p. URL: [http://www.civil.uminho.pt/highways/publications/2003_\(Mairepav3\)_Freitas_Pereira_Picado.pdf](http://www.civil.uminho.pt/highways/publications/2003_(Mairepav3)_Freitas_Pereira_Picado.pdf)
3. Kunst, P.A.J.C. Surface Cracking in Asphalt Layers. CROW Report / Centre for Research and Contract Standardization in Civil Traffic Engineering. Record 4. Netherlands, 1990. 198 p.
4. Dore, G. Cold Regions Pavement Engineering / G. Dore, H. Zubeck. Reston, USA : McGraw-Hill Education, 2009. 432 p.
5. Freitas, E., Pereira, P. and Picado-Santos, L. Estudo do Fendilhamento com Origem na superfície / 2.º Congresso Rodoviário Português. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Novembro, 2002. P. 319-330
6. Groenendijk, J. Accelerated Testing and Surface Cracking of Asphaltic Concrete Pavements: PhD Thesis / Technische Universiteit Delft. Delft, the Netherlands, 1998. 514 p.
7. Halim, A.O.A., Nabi, R.M.A., Aleem, A.A., Easa, S.M. and Haas R. Effect of Highway Geometry and Construction Equipment on the Problem of Reflection Cracks. *Reflective Cracking in Pavements. Design and Performance of Overlay Systems* : Proceedings of the Third International RILEM Conference. Maastrichts, the Netherlands, 1996. P. 9-17
8. Investigation of Low Temperature Cracking in Asphalt Pavements. A

- Transportation Pooled Fund Study. Final Report MN/RC 2007-43 [Электронный ресурс] / M. Marasteanu, A. Zofka, M. Turos, et al. 2007. 338 p. URL: <https://www.lrrb.org/PDF/200743.pdf>
9. Zubeck, H., Vinson, T. Prediction of Low-Temperature Cracking of Asphalt Concrete Mixtures with Thermal Stress Restrained Specimen Test Results / Proceedings of the Eighth International Symposium on Cold Regions Development, Finnish Association of Civil Engineers. Helsinki, Finland, 1994. 194 p.
 10. Komoriya, K., Yoshida, T. and Nitta, H. WA-DA-CHI-WA-RE – Surface Longitudinal Cracks on Asphalt Concrete Pavement / Transportation Research Board 80th Annual Meeting. Proceedings. CD Rom. Washington, D.C., 2001. P. 1-19
 11. Étude de la Fissuration par le Haut des Bétons Bitumineux / Études et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris : LCPC, 1999. Octobre. Vol. 1. 71 p.
 12. Low Temperature Cracking of Asphalt Concrete Pavements [Электронный ресурс] / M. Marasteanu, X. Li, T. Clyne, et al. 2004. 228 p. URL: <https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/792/1/200423.pdf>
 13. Low Temperature Transverse Cracks In Asphalt Pavements in Interior Alaska. Final Report [Электронный ресурс] / T. Osterkamp, G. Ballen, B. Hamer et al. Alaska Department of Transportation and Public Facilities. 1986. 137 p. URL: http://www.dot.state.ak.us/stwddes/research/assets/pdf/ak_rd_86_26.pdf
 14. Matsuno, S. Mechanism of Longitudinal Surface Cracking in Asphalt Pavement / S. Matsuno, T. Nishizawa. Proceedings of 7th International Conference on Asphalt Pavements. The University of Nottingham, 1992. Volume 2. P. 277-291.
 15. McHattie, R. Pavement Structure Evaluation of Alaskan Highways. Final Report FHWA-AK-RD-80-1 / R. McHattie, B. Connor, D. Esch. Alaska

DOTPF. 1980. 208 p.

16. McHattie, R. Evaluating the Need to Seal Thermal Cracks in Alaska's Asphalt Concrete Pavements. Final Report FHWA-AK-RD-12-20. [Електронний ресурс] / R. McHattie, A. Mullin, and J. Liu. Alaska University Transportation Center. 2013. 119 p. URL: <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/26943>
17. Mechanistic Analysis of Top-Down Cracking in Asphalt Pavements / T. Svasdisant, M. Schorsch, G. Baladi, and S. Pinyosunun. Proceedings of 81st Transportation Research Board Annual Meeting. Washington, D.C., 2002. No. 1809. P. 126-136.
18. Merrill, D.B. Investigating the Causes of Surface Cracking in Flexible Pavements Using Improved Mathematical Models : PhD Thesis / Department of Civil Engineering. University of Wales Swansea. Wales, 2000. 503 p.
19. Myers, L. Development and Propagation of Surface Initiated Longitudinal Wheel Path Cracks in Flexible Highway Pavements : Doctoral dissertation / University of Florida. 2000. 211 p.
20. Myers, L.N., Roque, R., and Birgisson, B. Propagation Mechanisms for Surface-Initiated Longitudinal Wheel Path Cracks. *Transportation Research Record*. Washington D.C., 2001. Vol. 1778. 113-122 p.
21. Ponniah, J. Fracture Energy for Modified Asphalts / J. Ponniah, R. Cullen, and S. Hesp. American Chemical Society. Division of Fuel Chemistry. Orlando, FL, 1996. Vol. 41 (4). P. 1317-1321.
22. Uhlmeyer, J.S., Willoughby, K., Pierce, L.M., and Mahoney, J.P. Top-Down Cracking in Washington State Asphalt Concrete Wearing Courses. *Transportation Research Record*. Washington, D.C., 2000. Vol. 1730. 110-116 p.
23. ОДМ 218.3.036-2013 Рекомендации по технологии санации трещин и швов в эксплуатируемых дорожных покрытиях. М., 2013. 59 с. (Інформація та документація).

24. Best Practices for Crack Treatments for Asphalt Pavements. NCHRP Report 784 / D.S. Decker. Washington, D.C., 2014. 46 p.
25. Ponniah J., Kennepohl, G. Crack Sealing in Flexible Pavements: A Life-Cycle Cost Analysis. *Transportation Research Record*. 1996. Vol. 1529. 86-94 p.
26. Pavement Surface Condition Rating Manual / A. O'Brien. Washington, D.C. : Washington State Printing Office, 1992. 82 p.
27. Identification of Pavement Distress in Kentucky. Research Report KTC-05-29/SPR-267-02-1F / T. Scully, R. Graves, and D. Allen. University of Kentucky. 2006. 52 c.
28. Crack Maintenance [Электронный ресурс]. *Alberta Transportation*. 2003. Nov. URL: <http://www.transportation.alberta.ca/content/doctype253/production/crtrtmntgdl.pdf>
29. LTTP Pavement Maintenance Materials: SHRP Crack Treatment Experiment. Final Report FHWA-RD-99-143 / K. Smith, R. Romine. ERES Consultants, Inc. 1999. 163 p.
30. Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements. Manual of Practice. Report FHWA-RD-99-147 / K. Smith, R. Romine. ERES Consultants. 1999. 108 p.
31. Lavin, P. Asphalt Pavements: A Practical Guide to Design, Production and Maintenance for Engineers and Architects. London and New York : Spon Press, 2003. 416 p.
32. Попченко С. Н. Гидроизоляция сооружений и зданий. Л. : Стройиздат, 1981. 304 с.
33. Кисина А. М., Ладыженская Л. Л., Попченко С. Н. Новые гидроизоляционные и кровельные материалы и их долговечность. Л. : Энергия, 1980. 80 с.
34. ВСН 32-81 Инструкция по устройству гидроизоляции конструкций

мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах. Утв. Мин. трансп. строительства СССР и министерством путей сообщения СССР. Москва, 1982. 112 с. (Інформація та документація).

35. ТР-218-060-2000 Технологічний регламент по влаштуванню гідроізоляційного захисту прольотних будов автодорожніх мостів і шляхопроводів і з бітумо-полімерних рулонних мембран. Каталог рулонних гідроізоляційних матеріалів, що рекомендуються для застосування у транспортному будівництві України. Київ : ДерждорНДІ, 2000. 65 с. (Інформація та документація).
36. Захаров Л. В., Новиков Я. Н., Цебров А. Т. Механизированная гидроизоляция проезжей части автодорожных мостов. *Транспортное строительство*. 1982. № 6. С. 24-26.
37. Кисина А. М., Куценко В. И. Полимербитумные кровельные и гидроизоляционные материалы. Л. : Стройиздат, 1983. 133 с.
38. Стабников Н. В. Асфальтополимерные материалы для гидроизоляции промышленных и гидротехнических сооружений. Л. : Стройиздат, 1975. 144 с.
39. Буштедт И. И., Смородин Е. М. Применение безрулонных гидроизоляционных материалов. Київ : Будівельник, 1964. 36 с.
40. Щуцкий Ф. Б., Никифоров Р. С., Смирнова Л. И. Устройство гидроизоляции из холодных мастик. *Транспортное строительство*. 1972. № 12. С. 18-19.
41. Вайсман А. Ф., Маркова И. И. Устойчивость битумно-полимерных композиций к старению под действием повышенной температуры и кислорода воздуха. *Строительные материалы*. 1997. № 12. С. 26-27.
42. Зельманович Я. И., Андронов С. Г. Критерии качества СБС-модифицированных битумно-полимерных материалов. *Строительные материалы*. 2001. № 3. С. 12-13.
43. Циганек В. Гидроизоляция. Москва : Госстройиздат, 1961. 180 с.

44. Энглин Н. И., Гриневич Л. В. Гидроизоляция сооружений битумно-латексными покрытиями. *Гидротехническое строительство*. 1963. № 11. С. 15-18.
45. Плунгянская М. Н. Холодная битумно-латексно-кукерсольная мастика БЛК для устройства кровель из рулонных материалов. Москва : Издательство литературы по строительству, 1966. 17 с.
46. Коваль П. М., Фаль А. Є., Баб'як І. П. Сучасні проблеми гідроізоляції автодорожніх мостів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2006. № 73. С. 167-172.
47. Москалев Ю. Г. Полимеры – будущее мягких кровельных материалов. *Строительные материалы*. 1997. № 12. С. 8-10.
48. Саканский Ю. Н., Пахомов М. В. Трещиностойкость полимерной гидроизоляции проезжей части автомобильно-дорожных мостов. *Труды СоюздорНИИ*. Москва, 1977. Вып. 89. С. 58-67.
49. Покровский В. М. Гидроизоляционные работы. Справочник строителя. Москва : Стройиздат, 1985. 320 с.
50. Беляев А. А. Применение битумно-полимерных материалов при гидроизоляции мостов. *Строительные материалы*. 2000. № 12. С.10-11.
51. Смирнов Э. Н. Строительно-технические свойства полимерно-битумных мастик на основе ДСТ / Улучшение битумов добавками высокополимеров, взаимодействие битума с минеральными материалами, битумные эмульсии : Труды СоюздорНИИ. Москва, 1971. Вып. 50. С.34-38.
52. Шеферд П. Б. Минеральные наполнители. *Битумные материалы (асфальты, смолы, пеки)* / под ред. А. Дж. Хойберга ; Пер. с англ. С. Абрамович. Москва : Химия, 1974. 248 с.
53. Жаренов А. С., Голубович А. А., Грибов Е. И. Производство битуминозных материалов. Москва : Промстройиздат, 1948. 263 с.
54. Попченко С. Н., Токмаков В. В. Способы повышения качества холодной

асфальтовой гидроизоляции. Москва : Информэнерго, 1971. 27 с.

55. Д'Андреа М. Битумная гидроизоляция с АПП и СБС – как помочь в выборе. *Строительные материалы*. 2001. № 3. С. 10-11.
56. Rotolo, A. The most recent frontiers of performance in APP modified bitumen waterproofing membranes with the use of new generation polyolefins / Proceedings of XI-th International Waterproofing and Roofing Congress. Florence, 2000. P. 65-79.
57. Бикерт П., Порт К., Роберс В. Модификация битума высоковязкими полимерами. *Строительные материалы*. 1997. № 12. С. 22-23.
58. Кисина А. М., Стабников Н. В. Полимерно-битумные герметизирующие материалы / Улучшение битумов добавками высокополимеров, взаимодействие битума с минеральными материалами, битумные эмульсии : Труды СоюздорНИИ. Москва, 1971. Вып. 50. С. 25-29.
59. Кисина А. М. Использование отходов полимеров для получения гидроизоляционных материалов / Гидроизоляционные, антикоррозионные и герметизирующие материалы ; Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева : Сборник научных трудов. Ленинград, 1983. С. 37-39.
60. Eribol, S., Orhan, F. Properties of bitumens modified with elastomers / 3rd Euroasphalt & Eurobitumen Congress, Vienna, 12-14 May, 2004. Vienna, 2004. Book I. P. 850-860.
61. Никифоров И. Л. Повышение долговечности кровельных и гидроизоляционных конструкций из рулонных материалов. М. : Стройиздат, 1957. 14 с.
62. Кисина А. М., Михайличенко М. М., Пчелкина Л. А. Полимер-битумные композиционные материалы. *Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии. Полимерные кровельные и гидроизоляционные материалы* : всесоюзная конференция, Белгород, 21-24 мая 1991 г. Белгород, 1991. Ч. 6. С. 32-34.
63. Карякин В. А., Хоров Л. Т. Рулонные кровельные и гидроизоляционные

материалы. *Строительные материалы*. 1987. № 9. С. 22-25.

64. Малевинский А. К. ОАО «Филикровля» – перспективы производства. *Строительные материалы*. 1997. № 12. С. 14-16.
65. Медунов В. И., Горелов Ю. А. Высокоэффективные материалы для кровли и гидроизоляции. *Строительные материалы*. 1996. № 11. С. 15-16.
66. Огрель А. М., Лукьяничев В. В., Медведев В. П. и др. Композиции для наливных кровельных покрытий на основе жидких углеводородных каучуков. *Строительные материалы*. 1995. № 7. С. 14-15.
67. Поваляев М. И., Андреева Г. Н., Митренко Л. И. Физико-технические свойства гидроизоляционных полимерных материалов. *Строительные материалы*. 1981. № 4. С. 23-24.
68. Розенталь Д. А., Таболина Л. С., Федосова В. А. Модификация кровельных битумов полимерными добавками. *Строительные материалы*. 1988. № 11. С. 27-28.
69. Синайский А. Г., Новиков В. А. Гидроизоляционные и кровельные материалы строительного назначения на основе синтетических каучуков. *Строительные материалы*. 1996. № 11. С. 10-11.
70. Сурмели Д. Д., Сони́на Н. М. Битумно-полимерное вяжущее для морозоустойчивых кровельных и гидроизоляционных материалов. *Строительные материалы*. 1968. № 2. С. 26-29.
71. Спектор Э. М. Клеящий состав на основе битума, модифицированного каучуком. *Строительные материалы*. 1964. № 1. С. 10-14.
72. Говорова О. А., Вишницкий А. С., Ревякин Б. И. Разработка полимерного кровельного гидроизоляционного материала повышенной долговечности. *Строительные материалы*. 1996. № 11. С. 22-23.
73. Хакимуллин Ю. Н., Набиуллин Р. Г., Сулейманов А. М. и др. Эксплуатационная долговечность кровельных материалов из эластомеров. *Строительные материалы*. 1998. № 11. С. 34-36.

74. Лысенко В. И., Миронова И. В. Оптимизация соотношения полимер/масло в составе аэродромной полимербитумной мастики. *Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии. Полимерные кровельные и гидроизоляционные материалы* : всесоюзная конференция, Белгород, 21-24 мая 1991 г. Белгород, 1991. Ч. 6. С. 39-40.
75. Krutko, N. P., Opanasenko, O. N., Minin, A. V. et al. Structural and reological properties of oxidized bitumen, modified with ethylene vinyl acetate and butyl acrylate thermoplastics / 3rd Euroasphalt & Eurobitumen Congress, Vienna, 12-14 May, 2004. Vienna, 2004. Book I. P. 871-880.
76. Михайличенко М. М., Доронина Е. В. Герметизирующая мастика Эластобит. *Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии. Полимерные кровельные и гидроизоляционные материалы* : всесоюзная конференция, Белгород, 21-24 мая 1991 г. Белгород, 1991. Ч. 6. С. 41-42.
77. Современные гидроизоляционные материалы : справочник / сост. А. И. Войтов, В. Л. Козачук, В. В. Лайкин и др. К. : АО «Мастера», 2002. 192 с.
78. Стабников Н. В. Битумно-полимерные герметики для уплотнения швов. М. : Энергия (Ленинградское отделение), 1975. 43 с.
79. Безбабічева О. І., Золотарьов Д. В., Жданюк В. К. Властивості бітумополімерних мастик для гідроізоляції мостів. *Автошляховик України*. 2001. №1. С. 34-36.
80. Шестериков В. И. Деформационные швы в автодорожных мостах. М. : Транспорт, 1978. 151 с.
81. Попченко С. Н. Холодная асфальтовая гидроизоляция. Л. : Стройиздат, 1977. 208 с.
82. Кутах О. П. Приготування бітумних мастик. Київ. : Будівельник, 1982. 20 с.
83. Покровський В. М. Ремонт гідроізоляції. К. : Будівельник, 1975. 88 с.

84. Руководство по ремонту элементов мостового полотна автодорожных мостов. НПО Росдорнии. М. : ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989. 158 с. (Інформація та документація).
85. Сахарова И. Д., Казарян В. Ю. Новые гидроизоляционные материалы для мостовых сооружений [Электронный ресурс]. *Архитектура и строительство*. 2003. URL: <http://www.build.rin.ru/articles/1601.html>
86. Способ получения битумно-полимерной композиции : пат. RU 2 177 969 С1, МПК⁷С08 L 95/00, 9/06 / В. Ф. Степанов. (RU) ; заявл. 20.09.00 ; опубл. 10.01.02, Бюл. № 1. 7 с.
87. Старокодомский С. М., Кузурман А. Н. Прогрессивная технология устройства гидроизоляции проезжей части мостов. *Транспортное строительство*. 1980. № 9. С. 48-49.
88. Порадек С. В. Как получить высокое качество ПБВ и КОВ при модифицировании битума полимерами. *Автомобильные дороги : информационный сборник* ; Информавтодор. 1997. Вып. 4. С. 28-38.
89. Битумно-полимерная мастика и способ ее получения : пат. RU 2258722 С1, МПК⁷С 08 L 95/00, С 09 D 195/00 / А. В. Черняков. (RU) ; заявл. 21.05.04 ; опубл. 20.08.05, Бюл. № 23. 7 с.
90. Гидроизоляционная мастика : пат. RU 2291172 С1, МПК С08L 95/00 / В. И. Роташнюк. (RU) ; заявл. 07.04.05 ; опубл. 10.01.07, Бюл. № 1. 8 с.
91. Холодная мастика для гидроизоляции (варианты) : пат. RU2280055 С2, МПК С09D 195/00 / В. П. Медведев. (RU) ; заявл. 07.06.04; опубл. 20.07.06, Бюл. № 20. 11 с.
92. Способ получения битумно-каучуковой мастики : пат. RU 2 263 692 С1, МПК⁷С08 L 95/00, С 09 D 195/00 / В. П. Медведев (RU) ; заявл. 07.06.04 ; опубл. 10.11.05, Бюл. № 31. 9 с.
93. Савенков Ю. В., Чернявский В. Л. Битумно-резиново-каучуковое вяжущее для кровельных и изоляционных мастик. *Композиційні матеріали для будівництва* : зб. наук. праць ; Вісник ДДАБА. Донецьк,

1999. Вип. 99-2 (16). С. 132-134.
94. Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (С8). Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве / пер. с франц. В.А. Золотарева ; под общей ред. В.А. Золотарева. Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2003. 229 с.
 95. Liu, K., Xu, G., Voyer, R. Durability and Cold Temperature Performance of SBS-Modified Bituminous Roofing Membranes / Fifth Symposium, ASTM STP 1451, Tampa, Florida, 7 Dec. 2003. Tampa, 2003. P. 97-118.
 96. Чернышев Ю. П., Хрипун И. Д., Фролова М. К. Битумнополимерная мастика для гидроизоляции бетонных, железобетонных и стальных конструкций. *Современные проблемы строительства* : Ежегодный научно-технический сборник. Донецк, 2002. Т. 1. С. 193-199.
 97. Junker, J.P. Abdichtungen von Kunstbauten im Strassenbau, insbesondere Bruckenabdichtungen mit PBD (Polimer-Bitumen-Dichtungsbahnen) unter Gussasphaltuberbau. *Strasse und Verkehr*. 1986. Vol. 72, № 12. S. 745-758.
 98. Лантух-Лященко А. І. Проблема довговічності залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів / А. І. Лантух-Лященко Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Науково-технічний збірник. Київ, 2006. Вип. 73. С. 204-210.
 99. Минин А. В. Прогрессивная технология ремонта мостов. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2000. Вип. 12-13. С. 124-127.
 100. Жданюк К. В. Бітумно-полімерні мастики підвищеної теплостійкості для гідроізоляції залізобетонних прогонових будов автодорожніх мостів : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Харківська національна академія міського господарства. Х., 2008. 164 с.
 101. Худякова Т. С., Розенталь Д. А., Кудрявцева И. Н. Влияние вида полимера на структуру и свойства полимербитумных материалов. *Технология и механизация гидроизоляционных работ промышленных,*

- гражданских и энергетических сооружений* : сборник научных трудов. Ленинград, 1983. 166 с.
102. Smith, K. Innovative Materials and Equipment for Pavement Surface Repairs. Report SHRP-M/UFR-91-504 : III volumes / K. Smith, D. Peshkin, et al. Eres Consultants, Inc. Washington, D.C., 1991. Volume I: Summary of Material Performance and Experimental Plans. 205 p.
 103. Masson, J-F., Collins, P., Margeson, J.C., Polomark, G.M. Analysis of Bituminous Crack Sealants by Physicochemical Methods: Relationship to Field Performance. *Transportation Research Record*. 2002. Vol. 1795. P. 33-39.
 104. Lee, J., Kim, S. et al. Evaluation of Adhesion Characteristics of Crack Sealants Used in Asphalt Concrete pavement. *International Journal of Highway Engineering*. 2015. Vol. 17, No. 2. P. 55-62.
 105. Masson J-F., Bundalo-Perc S., Delgado A. Glass transitions and mixed phases in block SBS. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*. 2005. Vol. 43, No. 3. P. 276-279.
 106. Козлов В. П., Папков С. П. Физико-химические основы пластификации полимеров. М. : Химия, 1982. 224 с.
 107. Diani, E., Gargani, L. Bitumen modification with SBS thermoplastic elastomers / 4^e Symposium Eurobitume, Madrid, 4-6 Oct. 1989. V. I, Article 1.51. P.275-279.
 108. Masson, J-F., Boudreau, S., Girard, C. Guidelines for Sealing and Filling Cracks in Asphalt Concrete Pavement / A Best Practice by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure. Canada : Federation of Canadian Municipalities ; National Research Council, 2003. Issue 10. 29 p.
 109. ASTM D6690 Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot Applied, for Concrete and Asphalt Pavements. West Conshohocken : ASTM International, 2015. 4 p. (Інформація та документація).
 110. Evaluation of Pavement Crack Treatments. Literature Review. Final Report

- CT-2241-F-05-6 / S. Zinke, B. Hogge, C. O'Brien, J. Mahoney. University of Connecticut. Connecticut, 2005. 30 p.
111. OPSS 341 Construction Specification for Routing and Sealing Cracks in Asphalt Pavement. Canada, 2016. 11 p. (Інформація та документація).
 112. Next Generation Crack Sealing Planning Tool for Pavement Preservation. Final Report GA-15-1437 / Y. Tsai, Z. Wang. Georgia Institute of Technology. Atlanta, 2016. 89 p.
 113. Janish D. Crack Sealing Bituminous Pavements in Minnesota. Final Report MN/RC – 92/03 / D. Janish, J. Sexton. Braun Intertec Pavement, Inc. St. Paul, 1992. 115 p.
 114. Naprawa (przez uszczelnienie) podłużnych i poprzecznych spękań nawierzchni bitumicznych / Specyfikacja techniczna. Załącznik Nr 10 do SIWZ. Warszawa, 2004. 7 s.
 115. Crack Sealing and Crack Filling Guide for Application and Construction. *Arizona Chapter AGC Pavement Preservation Series*. 2013. 15 p.
 116. Sigillatura delle fessure la manutenzione che allunga la vita della strada. Clusone, 2016. 6 p.
 117. Crack Sealing, Crack Filling & Joint Sealing of Flexible & Rigid Pavements / Caltrans Maintenance Technical Advisory Guide. Sacramento, CA, 2003. Chapter 3. P. 3-26.
 118. Road Surface Treatments Handbook [Електронний ресурс]. *Highways Magazine*. April, 2015. 44 p. URL: <https://pt.slideshare.net/bigbanana1/rsta-road-surface-treatments-handbook-v23>
 119. Naprawa (przez uszczelnienie) podłużnych i poprzecznych spękań nawierzchni bitumicznych / Specyfikacje Techniczne. D – 05.03.15. Warszawa, 2015. 7 s.
 120. Code of Practice for Crack Sealing & Joint Repair Systems for Road Surfaces / Road Surface Treatments Association. UK, 2013. Issue 1. 23 p.
 121. Potgieter, C. Road Pavement Crack Sealing: Experiences in the Republic of

- South Africa / Proceedings of the 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa. 2004. No.8. P. 1-11.
122. Lee, J., Hastak, M., Ahn, H. J. Crack sealing and filling: Best practices. Final Report FHWA/IN/JTRP-2015/23 [Электронный ресурс] / J. Lee, M. Hastak et al. Joint Transportation Research Program. West Lafayette, IN : Purdue University. 2015. 49 p. DOI: <https://doi.org/10.5703/1288284316008>
 123. <https://sweets.construction.com/Manufacturer/Maxwell-Products--Inc-NST154300/Products/Gap-Patch-530-Permanent-Pothole-Repair-NST482017-P>
 124. Бикерман Я. О. Новые представления о прочности адгезионных связей полимеров. *Успехи химии*. 1972. Т. 41. № 8. С. 1431-1464.
 125. Сумм Б. Д., Горюнов Ю. В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М. : Химия, 1976. 231 с.
 126. Альтшулер М. А., Дерягин Б. В. О связи процессов капиллярной пропитки и диффузионного извлечения из пористых материалов. *Исследования в области поверхностных сил* : сб. докладов. М. : Наука. 1964. С. 224-233.
 127. Гохман Л. М. Применение полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве. М. : МАДИ, 2001. 108 с.
 128. Чугуенко С. А. Сдвигоустойчивость асфальтобетонов на битумах, модифицированных полимерами : дис. ... канд. техн. Наук : 05.23.05 / ХНАДУ. Х., 2006. 185 с.
 129. Козлов В. П., Папков С. П. Физико-химические основы пластификации полимеров. М. : Химия, 1982. 224 с.
 130. Collins, P., Masson, J-F., Polomark, G. Ordering and steric-hardening in SBS modified bitumen. *Energy and Fuels*. 2006. Vol. 20, № 3. P. 1266-1268.
 131. Каргин В. А., Слонимский Г. А. Краткие очерки по физико-химии полимеров. М. : Химия, 1967. 232 с.
 132. Тагер Л. А. Физико-химия полимеров. М. : Химия, 1978. 544 с.

133. <https://kraton.com/products/pdsDocs/polymer/D1101K.pdf>
134. <https://www.zarechie.ru/>
135. Жданюк В. К., Гнатенко Р. Г. Основні фактори, що впливають на довготривалу водонепроникність загерметизованих тріщин в асфальтобетонних покриттях. *Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації* : матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції. Харків : ХНАДУ, 2019. С.106-109.
136. Жданюк В. К., Воловик О. О., Циркунова К. В., Гнатенко Р. Г., Біжан О. П. Дослідження міцності зчеплення бітумінозного герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетонного покриття дорожньої конструкції в зоні тріщини. *Нові технології в будівництві*. 2018. № 35. С.77-81.
137. Воловик О. О., Гнатенко Р. Г., Жданюк В. К. Метод та результати оцінки міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з асфальтобетонним покриттям в зоні тріщин. Будівництво та експлуатація об'єктів транспортної інфраструктури : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції. Харків : ХНАДУ, 2018. С. 157-161.
138. Gnatenko, R., Tsyrukunova, K., and Zhdanyuk, V. Technological Sides of Crack Sealing in Asphalt Pavements. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14, P. 804-810.
139. Гнатенко Р. Г., Циркунова К. В., Жданюк В. К. Бітумно-полімерні мастики високої холодостійкості та теплостійкості для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Автошляховик України*. 2015. № 1-2. С.66-70.
140. СОУ 42.1-37641918-035:2018 Ресурсні елементні кошторисні норми. Ремонт автомобільних доріг та мостів. [Чинний від 2018-04-01]. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2018, 352 с. (Інформація та документація).

ДОДАТОК А
ЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ ВІДРИВУ ТА МІЦНОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ
БІТУМНО-ПОЛІМЕРНОГО ГЕРМЕТИКА З АСФАЛЬТОБЕТОННОЮ
ПОВЕРХНЕЮ В ЗОНІ ТРІЩИНИ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО
ВИЗНАЧЕНИХ ЗА РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУР

Таблиця А.1 – Температурні умови підготовки зразків та результати випробувань

Серії випробування	Температура асфальтобетонного зразка при нанесенні герметизуючого матеріалу, °С	Температура нагріву мастики, °С	Температура асфальтобетонного зразка разом із герметизуючим матеріалом при випробуванні зчеплення з основою, °С	Зусилля відриву, Н	Показник міцності зчеплення, МПа
1	+ 10	+ 180	-20	2147	0,85
2			-15	1450	0,58
3			-10	1079	0,43
4			-5	993	0,40
5			0	867	0,34
6			+5	675	0,27
7			+10	575	0,23
8			+15	425	0,17
9			+20	283	0,11

Таблиця А.2– Температурні умови підготовки зразків та результати випробувань

Серії випробування	Температура асфальтобетонного зразка при нанесенні герметизуючого матеріалу, °С	Температура нагріву мастики, °С	Температура асфальтобетонного зразка разом із герметизуючим матеріалом при випробуванні зчеплення з основою, °С	Зусилля відриву, Н	Показник міцності зчеплення, МПа
1	+ 20	+ 180	-20	2225	0,89
2			-15	1600	0,64
3			-10	1306	0,52
4			-5	1100	0,44
5			0	900	0,36
6			+5	750	0,30
7			+10	600	0,24
8			+15	500	0,20
9			+20	325	0,13

Таблиця А.3 – Температурні умови підготовки зразків та результати випробувань

Серії випробування	Температура асфальтобетонного зразка при нанесенні герметизуючого матеріалу, °С	Температура нагріву мастики, °С	Температура асфальтобетонного зразка разом із герметизуючим матеріалом при випробуванні зчеплення з основою, °С	Зусилля відриву, Н	Показник міцності зчеплення, МПа
1	+ 40	+ 180	-20	2425	0,97
2			-15	1950	0,78
3			-10	1600	0,64
4			-5	1225	0,49
5			0	1006	0,4
6			+5	825	0,33
7			+10	700	0,28
8			+15	571	0,22
9			+20	467	0,18

Таблиця А.4 – Температурні умови підготовки зразків та результати випробувань

Серії випробування	Температура асфальтобетонного зразка при нанесенні герметизуючого матеріалу, °С	Температура нагріву мастики, °С	Температура асфальтобетонного зразка разом із герметизуючим матеріалом при випробуванні зчеплення з основою, °С	Зусилля відриву, Н	Показник міцності зчеплення, МПа
1	+ 60	+ 180	-20	2804	1,12
2			-15	2226	0,89
3			-10	1775	0,71
4			-5	1375	0,55
5			0	1150	0,46
6			+5	925	0,37
7			+10	775	0,31
8			+15	625	0,25
9			+20	482	0,19

Таблиця А.5 – Температурні умови підготовки зразків та результати випробувань

Серії випробування	Температура асфальтобетонного зразка при нанесенні герметизуючого матеріалу, °С	Температура нагріву мастики, °С	Температура асфальтобетонного зразка разом із герметизуючим матеріалом при випробуванні зчеплення з основою, °С	Зусилля відриву, Н	Показник міцності зчеплення, МПа
1	+ 80	+ 180	-20	2910	1,16
2			-15	2588	1,03
3			-10	1862	0,74
4			-5	1457	0,58
5			0	1356	0,54
6			+5	1192	0,47
7			+10	901	0,36
8			+15	664	0,26
9			+20	502	0,20

ДОДАТОК Б
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Гнатенка Р.Г.

Публічне акціонерне товариство «Шляхове ремонтно-будівельне управління № 33» підтверджує, що згідно з вимогами до герметизуючих матеріалів, які викладені в рекомендаціях Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», співавтором яких є Гнатенко Р.Г., у виробничих умовах ПАТ «ШРБУ №33» в жовтні 2013 року у змішувачі планетарного типу було виготовлено дослідно-експериментальну партію бітумно-полімерного герметика гарячого застосування об'ємом 2,5 м³.

Згідно рецепту, розробленому аспірантом Гнатенко Р.Г., до складу бітумно-полімерного герметизуючого матеріалу входили такі складники: бітум нафтовий дорожній окислений марки БНД 90/130 – 70 %; пластифікатор – 17 %; полімер марки «KRATON D-1101 CM» - 8 %; водний катіонний латекс марки «Butonal NS 198» - 5 %.

Результати лабораторних випробувань властивостей виготовленого бітумно-полімерного герметика наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Властивості бітумно-полімерного герметика

Найменування показника	Фактичні значення
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °C	106
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °C, мм ⁻¹	68
Дуктильність за температури 25 °C, см	67
Еластичність, %	98
Температура крихкості, °C	> -40
Гнучкість на стрижні d = 2 см, °C	> -35
Щільність, кг/м ³	980

Виготовлений бітумно-полімерний герметик був використаний для відпрацювання технологічних режимів герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях на дорогах загального користування та для лабораторних досліджень впливу різних наповнювачів на властивості отримуваних мастик на його основі.

Генеральний директор
ПАТ «ШРБУ № 33»



В.П. Шевченко

Товариство з обмеженою відповідальністю «ВестаШляхбуд»

50045, Україна, Дніпропетровська область, м. Кривий Ріг, вул. Урожайна, 1.
тел. 067 575 11 61
ПІН 319332604825, свідоцтво №04815943, ЄДРПОУ 31933268
Система якості: ДСТУ ISO-9001-2015

Вих. №05/05/3 від 05.05.2020 року

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Харківського
національного автомобільно-дорожнього університету Р.Г. Гнатенка

Товариство з обмеженою відповідальністю «ВестаШляхбуд» підтверджує, що у 2016-2017 роках наукові розробки Гнатенка Р.Г. були впроваджені при виконанні робіт з поточного ремонту вулиць і доріг міста Кривий Ріг (проспект Миру, вулиця Лермонтова, проспект Гагаріна, проспект Гагаріна, вулиця Купріна, проспект Металургів, вулиця Волгоградська, вулиця Володимира Бизова).

В процесі поточного ремонту вулиць і доріг міста Кривого Рогу (проспект Миру, вулиця Лермонтова, проспект Гагаріна) згідно з договором № 26/09-2016-П від 26.09.2016 року та в процесі поточного ремонту вулиць і доріг міста Кривого Рогу (проспект Гагаріна, вулиця Купріна, проспект Металургів, вулиця Волгоградська, вулиця Володимира Бизова) згідно з договором №95/06-2017-СПЗТ від 07.06.2017 року фахівці ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» виконували роботи з герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу з асфальтобетону згідно з рекомендаціями, співавтором яких є Гнатенко Р.Г., Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», що увійшов у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор).

Загальна протяжність загерметизованих тріщин на вказаних вулицях становить 71 494,2 п.м.

Обстеженнями встановлено, що на кінець весни 2020 року руйнувань загерметизованих тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу не спостерігається.

Директор ТОВ «ВЕСТАШЛЯХБУД»



Мілюков В.М.



Державне агентство автомобільних доріг України
(УКРАВТОДОР)

Служба автомобільних доріг у Харківській області

вул. Ахсарова, 2, м. Харків, 61202

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

«26» листопада 2019 р. № 2585/06

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Р.Г. Гнатенка

Служба автомобільних доріг у Харківській області підтверджує, що у 2018 році наукові розробки Гнатенка Р.Г. були впроваджені при виконанні робіт з експлуатаційного утримання на автомобільних дорогах загального користування державного значення М-03 Київ - Харків - Довжанський, км 0+395 - км 0+646, (окремими ділянками); М-03 Київ - Харків - Довжанський під'їзд до Міжнародного аеропорту «Харків» км 0+000 - км 14+100, (окремими ділянками); М-18 Харків - Сімферополь - Алушта - Ялта, під'їзд до Міжнародного аеропорту «Харків», км 0+000 - км 8+100, (окремими ділянками).

В процесі експлуатаційного утримання на автомобільних дорогах державного значення: М-03 Київ - Харків - Довжанський, км 0+395 - км 0+646, (окремими ділянками); М-03 Київ - Харків - Довжанський під'їзд до Міжнародного аеропорту «Харків» км 0+000 - км 14+100, (окремими ділянками); М-18 Харків - Сімферополь - Алушта - Ялта, під'їзд до Міжнародного аеропорту «Харків», км 0+000 - км 8+100, (окремими ділянками) згідно з договором № Т7-ОТР/19 від 26.03.2019 року фахівці ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» виконували роботи з герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу згідно з рекомендаціями, співавтором яких є Гнатенко Р.Г., Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», що увійшов у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор).

Загальна протяжність загерметизованих тріщин на вказаних дорогах становить 35 645 м.п.

Обстеженнями встановлено, що на кінець 2019 року руйнувань загерметизованих тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу не спостерігається.

Начальник Служби автомобільних доріг у Харківській області

Євген ЗРАЗЖЕВЕЦЬ



УКРАВТОДОР

СЛУЖБА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ У ЧЕРНІГІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

вул. Київська, 17, м. Чернігів, 14005
Тел.(0462) 674-355, факс (0462) 674-355
E-mail: chernigivroad@ukr.net
Код ЄДРПОУ 25901106

26.11.2019 № 01-06/2499/ На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Харківського
національного автомобільно-дорожнього університету Р.Г. Гнатенка

Служба автомобільних доріг у Чернігівській області підтверджує, що у 2018 році наукові розробки Гнатенка Р.Г. були впроваджені при виконанні робіт з експлуатаційного утримання на автомобільних дорогах загального користування державного значення М-01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі (на Гомель), км 61+160 - км 224+326, Південний під'їзд до м. Чернігів, км 0+000 – км 12+805, Північний під'їзд до м. Чернігів, км 0+000-км 0+934 та Р-56 Чернігів – Пакуль - КПП «Славутич» - Чорнобиль (з під'їздом до м. Славутич), км 6+000 – км 50+900, під'їзд до м. Славутич км 0+000-км 13+648.

В процесі експлуатаційного утримання на автомобільних дорогах М-01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі (на Гомель), км 61+160 - км 224+326, Південний під'їзд до м. Чернігів, км 0+000 – км 12+805, Північний під'їзд до м. Чернігів, км 0+000-км 0+934 та Р-56 Чернігів – Пакуль - КПП «Славутич» - Чорнобиль (з під'їздом до м. Славутич), км 6+000 – км 50+900, під'їзд до м. Славутич км 0+000-км 13+648 згідно з договором № 18173 від 15 червня 2018 року фахівці ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» виконували роботи з герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу згідно з рекомендаціями, співавтором яких є Гнатенко Р.Г., Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», що увійшов у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор).

Загальна протяжність загерметизованих тріщин на вказаних дорогах становить 30464,5 м.п. (М-01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі (на Гомель) – 19 787 м.п., Р-56 Чернігів – Пакуль - КПП «Славутич» - Чорнобиль (з під'їздом до м. Славутич) – 10 677,5 м.п.)

Обстеженнями встановлено, що на кінець 2019 року руйнувань загерметизованих тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу не спостерігається.

В.о. начальника
Служби автомобільних доріг
У Чернігівській області

Ю.В. Мартинов



УКРАВТОДОР

СЛУЖБА АВТОМІБІЛЬНИХ ДОРІГ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ

вул. Рінненська, 52 б, м. Луцьк, 43020,
 тел./факс: (0332) 78-54-75, факс (0332) 78-54-69
 E-mail: volsad@gmail.com Код ЄДРПОУ 25908960

05.05.2020 № 465/4.20 На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Р.Г. Гнатенка

Служба автомобільних доріг у Волинській області підтверджує, що у 2018 році наукові розробки Гнатенка Р.Г. були впроваджені при виконанні робіт з експлуатаційного утримання на автомобільній дорозі загального користування державного значення М-07 Київ – Ковель – Ягодин.

В процесі експлуатаційного утримання на автомобільній дорозі М-07 Київ – Ковель – Ягодин згідно з договором № 01.4/8/18 від "24" квітня 2018 року та договором №01.4/8/19 від "23" квітня 2019 року фахівці ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» виконували роботи з герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу згідно з рекомендаціями, співавтором яких є Гнатенко Р.Г., Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», що увійшов у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор).

Загальна протяжність загерметизованих тріщин на вказаній дорозі становить 49 650 п.м.

Обстеженнями встановлено, що на кінець весни 2020 року руйнувань загерметизованих тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу не спостерігається.

Довідка видана для пред'явлення по місцю вимоги.

Заступник начальника

З розвитку доріг

Калинюк 785-471



Н.А.Антонян



St. Aviazylina, 7A
Lviv 79000
Ukraine

До відома всіх зацікавлених сторін

12 травня 2020 року

Про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Р.Г. Гнатенка

ТОВ «Egis Ukraine» підтверджує, що у 2015 році наукові розробки Гнатенка Р.Г. були впроваджені при виконанні робіт з експлуатаційного утримання на автомобільній дорозі загального користування державного значення М-06 Київ-Чоп, км 434+230 – км 621+500.

В процесі експлуатаційного утримання на автомобільній дорозі М-06 Київ-Чоп, км 434+230 – км 621+500, згідно з договором субпідряду з підприємством «Дорстроймонтаж» про надання послуг для представництва «Онур Тааххут Ташимаджималик ве Тіджарет Лімітед Ширкеті», фахівці ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» виконували роботи з герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу з щебеневно-мастикового асфальтобетону згідно з рекомендаціями, співавтором яких є Гнатенко Р.Г., Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», що увійшов у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор).

Загальна протяжність загерметизованих тріщин на вказаній дорозі в рамках виконання вказаного виду робіт становить 84 223 п.м.

Обстеженнями встановлено, що на кінець весни 2020 року руйнувань загерметизованих тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу не спостерігається.

З повагою,

Петро Шпигак
Головний інженер
Тел.: +380987018421
Email: petro.shpytak@gmail.com



ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок аспіранта Гнатенка Р.Г.

Державне агентство автомобільних доріг України підтверджує, що Гнатенко Р.Г. є співавтором ДСТУ Б В.2.7-136:2016 «Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги», який розроблявся на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) згідно з договором № 13/35-38-14 "Переглянути ДСТУ Б В.2.7-136:2007 «Матеріали для заливки швів і тріщин покриттів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги» (державний реєстраційний № 0114U004633) та затверджений в установленому порядку.

Розробки аспіранта Гнатенка Р.Г. знайшли відображення в цьому стандарті в розділі «Загальні технічні вимоги», де розроблено загальні вимоги до бітумно-полімерних герметиків та мастик гарячого застосування.

Розроблений стандарт використовується підприємствами і організаціями, які входять в сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України при застосуванні бітумно-полімерних мастик для герметизації тріщин і деформаційних швів.

Начальник відділу інноваційного розвитку Департаменту технічного забезпечення та інноваційного розвитку



Олександр ТИМОЩУК

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок аспіранта Гнатенка Р.Г.

Державне агентство автомобільних доріг України підтверджує, що Гнатенко Р.Г. є співавтором рекомендацій Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», які розроблялись на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) згідно з договором № 162/35-93-12 «Провести дослідження та розробити рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів» (державний реєстраційний № 0112U006524) та затверджені в установленому порядку.

Розробки аспіранта Гнатенка Р.Г. знайшли відображення в цих рекомендаціях в розділах «Вимоги до матеріалів» та «Особливості технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних шарах покриття дорожнього одягу», де розроблено вимоги до бітумно-полімерних герметизуючих матеріалів гарячого застосування для кліматичних умов України, та технологічна послідовність і режими технологій герметизації тріщин з нарізанням жолоба та без нарізання жолоба в зоні тріщини.

Розроблені рекомендації застосовуються підприємствами і організаціями, які входять в сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України, при експлуатаційному утриманні та поточних ремонтах автомобільних доріг загального користування.

Начальник відділу інноваційного розвитку Департаменту технічного забезпечення та інноваційного розвитку



Олександр ТИМОЩУК

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок аспіранта Гнатенка Р.Г.

Державне агентство автомобільних доріг України підтверджує, що Гнатенко Р.Г. є співавтором ДСТУ 8873:2019 «Автомобільні дороги. Настанова з герметизації тріщин», який розроблявся на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) згідно з договором № 36/35-16-17 «Провести дослідження та розробити національний стандарт з герметизації тріщин в покритті нежорсткого дорожнього одягу» (державний реєстраційний № 0117U003618) та затверджений в установленому порядку.

Розробки аспіранта Гнатенка Р.Г. знайшли відображення в цьому стандарті в розділі «Організація і технологія виконання робіт», де розроблено вимоги до технологічних процесів герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу, а також до контролювання якості їхнього виконання.

Розроблений стандарт використовується підприємствами і організаціями, які входять в сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України при виконанні робіт з герметизації тріщин в асфальтобетонних шарах дорожніх одягів на дорогах державного значення.

Начальник відділу інноваційного розвитку Департаменту технічного забезпечення та інноваційного розвитку



Олександр ТИМОЩУК



Представництво Євро-Азійська будівельна корпорація "EVASCON" BAT
Representation Euro-Asian Construction Corporation "EVASCON" OJSC

№: UKR/EVR/C10/0217 від 12.02.2021 р

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Р.Г. Гнатенка

Представництво БАТ «Євро-Азіатська Будівельна Корпорація «Євраскон» підтверджує, що у 2014 році наукові розробки Гнатенка Р.Г. були впроваджені при виконанні робіт з ліквідації дефектів покриття на автомобільній дорозі загального користування державного значення М-06 Київ-Чоп, км 322 - км 348.

В процесі ліквідації дефектів на автомобільній дорозі М-06 Київ-Чоп, км 322 – км 348 згідно з Договором №01-14 про виконання робіт від 01 вересня 2014 року фахівці ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» виконували роботи з герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу з щебенево-мастикового асфальтобетону згідно з рекомендаціями, співавтором яких є Гнатенко Р.Г., Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», що увійшов у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор).

Загальна протяжність загерметизованих тріщин на вказаній дорозі становить 34 128 п.м.

Обстеженнями встановлено, що на кінець 2020 року руйнувань загерметизованих тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу не спостерігається.

Директор Представництва



Г.М.ІСМІЄВ

OJSC "EVASCON" in Ukraine
Legal address: 35705, Zdol-buniv, Rivnenska oblast, 1 Shevchenka str.
Actual address: 01014 Kyiv c., Bolsunovska str. 2.
Tel/fax: (03652) 22477 e-mail: azerkorpu@ukr.net

Представництво БАТ САБК «ЄВРАСКОН» в Україні.
Юридична адреса: 35705, Рівненської обл., м. Здолбунів., вул. Шевченка, 1.
Фактична адреса: 01014 м. Київ вул. Болсуновська 2.
Tel/fax: (03652) 22477 e-mail: azerkorpu@ukr.net



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП»

ЄДРПОУ 35884094

14007, м. Чернігів, вул. Кільцева, 5

Р/р UA19380805000000026004409218 в АТ «Райффайзен Банк «Авалья»

Р/р UA303510050000026005178998800 в АТ «Укрсінбанк»

тел. 0462-930-737, тел./факс 0462-69-47-35, e-mail: translinegroup@ukr.net

Вих. № 86 від 26.01.2021 р.

Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Р.Г.Гнатенка

Товариство з обмеженою відповідальністю «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» підтверджує, що, починаючи з 2014 року, підприємством були використані наукові розробки Гнатенка Р.Г. при виконанні робіт з герметизації тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу з щебенево-мастикового асфальтобетону, що проводилися згідно з рекомендаціями Р В.3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», співавтором яких є Гнатенко Р.Г.

Впровадження наукових розробок відбувалося протягом 2014-2019 років у процесі виконання робіт з експлуатаційного утримання таких автомобільних доріг загального користування державного значення:

- М-06 Київ-Чоп, км 322+000-км 348+000, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 34 128 м.п., замовник ПРЕДСТАВНИЦТВО «ВАТ «ЄВРО-АЗІАТСЬКА БУДІВЕЛЬНА КОРПОРАЦІЯ «ЄВРАСКОН», 2014 р.;
- М-06 Київ-Чоп, км 348+000-км 441+637, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 148 264 м.п., замовник Представництво «ГодініКонструкціїДженералі С.П.А.», 2014 р.;
- М-06 Київ-Чоп, км 434+230-км 621+500, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 84 223 м.п., замовник ТОВ «Egis Ukraine», 2015 р.;
- з поточного ремонту вулиць і доріг міста Кривий Ріг (пр-т. Миру, вул. Лермонтова, пр-т. Гагаріна, пр-т. Гагаріна, вул. Купріна, проспект Металургів, вулиця Волгоградська, вулиця Володимира Бизова), загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 71 494,2 м.п., замовник ТОВ «Вестшляхбуд», 2016-2017 роки;
- М-01 Київ-Чернігів-Нові Яриловичі (на Гомель), км 61+160-км 224+326, південний під'їзд до м.Чернігів, км 0+000-км 12+805, північний під'їзд до м.Чернігів, км 0+000-км 0+934, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 19 787 м.п., замовник Служба автомобільних доріг у Чернігівській області, 2018 р.;
- Р-56 Чернігів-Пакуль-КПП «Славутич»-Чорнобиль (з під'їздом до м.Славутич), км 6+000-км 50+900, під'їзд до м.Славутич км 0+000-км 13+648, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 10 677,5 м.п., замовник Служба автомобільних доріг у Чернігівській області, 2018 р.;
- М-03 Київ-Харків-Довжанський, км 0+395-км 0+646 (окремими ділянками); М-03 Київ-Харків-Довжанський, під'їзд до Міжнародного аеропорту «Харків» км 0+000-км 14+100 (окремими ділянками); М-18 Харків-Сімферополь-Алушта-Ялта, під'їзд до Міжнародного аеропорту «Харків», км 0+000-км 8+100 (окремими

ділянками), загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 35 645 м.п., замовник Служба автомобільних доріг у Харківській області, 2019 р.;

- М-07 Київ-Ковель-Ягодин, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 49 650 м.п., замовник Служба автомобільних доріг у Волинській області, 2019 р.;
- М-02 Кіпті-Глухів-Бачівськ (на м. Брянськ), км 145+435-км 169+000, км 208+000-км 217+500, км 240-км 243, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 23 753 м.п., замовник ДП «Сумський облавтодор» ВАТ «Автомобільні дороги України», 2019 р.

Замовники вище перелічених послуг відмічають, що після виконання ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» робіт згідно з рекомендаціями Р В.3.2-02071168-825:2013 руйнувань загерметизованих тріщин в асфальтобетонному шарі покриття дорожнього одягу протягом 2,5-3 років експлуатації загалом, або ж за весь період експлуатації до влаштування нових шарів підсилення конструкцій дорожнього одягу зокрема, зафіксовано не було.

У 2020 році фахівці ТОВ «ТРАНС ЛАЙН ГРУП» продовжили проведення аналогічних робіт герметизації тріщин на таких дорогах:

- Автомобільні дороги Харківської області, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 40 610 м.п.;
- Автомобільні дороги Сумської області, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 11 862 м.п.;
- Автомобільні дороги Волинської області, загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 16 340 м.п.;

а також при виконанні робіт:

- з поточного ремонту прилеглої території ТОВ «СМЕНА», загальна протяжність загерметизованих тріщин складає 2277 м.п.

Загальна протяжність загерметизованих згідно з рекомендаціями Р В.3.2-02071168-825:2013 тріщин з 2014 по 2020 роки включно складає 548 710,7 м.п.

Директор



М.М. Лавріченко



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«НПО СВАРОГ»

Код ЄДРПОУ 34924848
14007 м. Чернігів, вул. Кільцева, 5
Свідоцтво 100029702 ПНН 349248425267
IBAN UA783005280000026000455077419 в АТ «ОТП БАНК»
тел. +38-0462-69-47-14 e-mail: npo.svarog@gmail.com

Вих. № 44
від 26.01.2021 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього Р.Г.Гнатенка

Товариство з обмеженою відповідальністю «НПО Сварог» впровадило на власному виробництві наукові розробки Гнатенка Р.Г. в галузі дорожнього будівництва.

Так, наприкінці 2020 року на підприємстві було виготовлено партію бітумополімерної мастики, фізико-механічні показники якої дозволяють її застосування для герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті дорожнього одягу під час експлуатаційного утримання автомобільних доріг і наведені нижче у таблиці:

Властивості	Показники	
	Герметик (без наповнювача)	Бітумна мастика з наповнювачем
Пенетрація P_{25} , мм ⁻¹	96	79
Температура розм'якшеності за КіК, °C	96	98
Еластичність, %	99	99
Температура крижкості, °C	мінус 40	мінус 40
Гнучкість за температури мінус 30 °C на стрижні діаметром 30 мм	Витримала	Витримала

Продукція, виготовлена згідно з рекомендаціями Р.Г.Гнатенка, була реалізована підприємствам, що надають послуги експлуатаційного утримання автомобільних доріг, і в подальшому використана в процесі герметизації тріщин асфальтобетонного покриття в м.Чернігів для ТОВ «СМЕНА».

Директор



М.П.Усенко



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, тел. (057) 700-38-66, факс (057) 700-38-65, E-mail: admin@khadi.kharkov.ua

28.01.2021 № 123/35
На № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження аспіранта ХНАДУ
Гнатенка Р.Г. у навчальний процес

Харківський національний автомобільно-дорожній університет підтверджує, що аспірант Гнатенко Р.Г. є співавтором нормативно-технічного документу Р В. 3.2-02071168-825:2013 «Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків», що увійшов у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) та наступних державних стандартів України: ДСТУ Б В.2.7-136:2016 «Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги», ДСТУ 8873:2019 «Автомобільні дороги. Настанова з герметизації тріщин».

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.

ПОГОДЖЕНО:
Проректор з наукової
роботи, професор

В.О. Богомолів

ДОДАТОК В
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. Gnatenko, R., Tsyркunova, K., and Zhdanyuk, V. Technological Sides of Crack Sealing in Asphalt Pavements. *Transportation Research Procedia*. 2016. Volume 14. P. 804-810. Cited 3 times. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.028>

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Гнатенко Р.Г., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Бітумно-полімерні мастики високої холодостійкості та теплостійкості для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Автошляховик України*. 2015. № 1-2. С.66-70.

3. Жданюк В.К., Воловик О.О., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г., Біжан О.П. Дослідження міцності зчеплення бітумінозного герметизуючого матеріалу з поверхнею асфальтобетонного покриття дорожньої конструкції в зоні тріщини. *Нові технології в будівництві*. 2018. № 35. С. 77-81. DOI: <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2018.35.13>

4. Жданюк В.К., Воловик О.О., Біжан О.П., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г. Щодо конструктивно-технологічних особливостей герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях. *Вісник ХНАДУ*. 2019. Вип. 84. С. 82-87. DOI: 10.30977/BUL.2619-5548.2019.84.0.82

5. Жданюк В.К., Воловик О.О., Біжан О.П., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г. Матеріалознавчі та конструктивно-технологічні особливості забезпечення міцності зчеплення герметизуючих матеріалів з поверхнею асфальтобетонного покриття в зоні тріщини. *Вісник ХНАДУ*. 2019. Вип. 85. С. 66-72. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.66

Публікації апробаційного характеру:

6. Жданюк К.В., Гнатенко Р.Г., Зражевець Є.М., Жданюк В.К. Підвищення якості мастик модифікацією покрівельного бітуму комплексними добавками. *Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях* : материалы IX ежегодной промышленной конференции, п. Славское, 9-13 февр. 2009 г. п. Славское, 2009. С. 232-234.

7. Гнатенко Р.Г., Макарьев О.О., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Особливості технології ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве* : материалы X Международной научно-технической интернет-конференции, г. Харьков, 25 нояб. – 25 декаб. 2011 г. Харьков : ХНАГХ, 2012. С. 156-158.

8. Жданюк В.К., Лапченко А.С., Гнатенко Р.Г., Алессандро Гіаннаттасіо Щодо низькотемпературних властивостей бітумів. *Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг* : матеріали міжнародної науково-технічної конференції, м. Харків, 14-16 листоп. 2013 р. Харків : ХНАДУ, 2013. С. 100-103.

9. Жданюк В.К., Циркунова К.В., Гнатенко Р.Г. Щодо герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве* : материалы XI Международной научно-технической интернет-конференции, г. Харьков, 25 нояб. – 25 декаб. 2013 г. Харьков : ХНАГХ, 2014. С. 92-94.

10. Гнатенко Р.Г., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Бітумно-полімерна мастика з каоліновим наповнювачем для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів. *Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті* : збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 85-річчю заснування ХНАДУ. Харків : ХНАДУ, 2015. С. 126-128.

11. Воловик О.О., Гнатенко Р.Г., Жданюк В.К. Метод та результати оцінки міцності зчеплення герметизуючого матеріалу з асфальтобетонним покриттям в зоні тріщин. *Будівництво та експлуатація об'єктів транспортної інфраструктури* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції, м. Харків, 23 жовтня 2018 р. Харків : ХНАДУ, 2018. С. 157 – 161.

12. Жданюк В.К., Гнатенко Р.Г. Основні фактори, що впливають на довготривалу водонепроникність загерметизованих тріщин в асфальтобетонних покриттях. *Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації* : матеріали І Міжнародної науково-технічної конференції, м. Харків, 15 листопада 2019 р. Харків : ХНАДУ, 2019. С.106 – 109.

Опубліковані праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:

Нормативні документи:

13. ДСТУ Б В.2.7-136:2016 Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожніх одягів автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 15 с.

14. ДСТУ 8873:2019 Автомобільні дороги. Настанова з герметизації тріщин. [Чинний від 2020-07-01]. Вид. офіц. 2019. 12 с.

15. Р В. 3.2-02071168-825:2013 Рекомендації щодо технологій ремонту тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів з використанням бітумно-полімерних мастик або герметиків. [Чинний від 2013-11-04]. Вид. офіц. Харків : Видавництво Укравтодор, 2013. 11 с.

Патент:

16. Патент на корисну модель № 54502 Україна, МПК (2009) C08L 95/00 C09D 195/00 Герметизуюча бітумно-полімерна мастика / Жданюк В.К., Волювач С.В., Золотов М.С., Жданюк К.В., Гнатенко Р.Г., Арінушкіна О.О. (Україна); заявник та патентовласник Харківський

національний автомобільно-дорожній університет. № u2010062293; заявл. 25.05.2010; опубл. 10.11.2010, Бюл. №21. 4 с.