

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

На правах рукопису

АКСЬОНОВ СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ

УДК 625.852

**МЕТОД РОЗРАХУНКУ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО
ПОКРИТТЯ НА МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУДАХ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

**Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

**Науковий керівник
Онищенко Артур Миколайович
кандидат технічних наук, доцент**

Київ 2016

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ОРТОТРОПНІЙ ПЛИТІ МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД.....	13
1.1 Причини виникнення руйнувань в асфальтобетонному покритті на металевих транспортних спорудах	13
1.2 Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду влаштування нежорсткого дорожнього одягу на ортотропній плиті металевих транспортних споруд	15
1.3 Існуючі типові конструкції дорожніх одягів на металевих транспортних спорудах	20
1.4 Існуючі моделі і методи розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах	31
1.5 Існуючі способи підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах	52
1.6 Висновки по розділу, мета та задачі дослідження	61
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД НА ДОВГОВІЧНІСТЬ	64
2.1 Концептуальні положення з розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах	64
2.2 Аналітичний метод розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів	67

2.3	Визначення міри пошкодженості асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах від температурних напружень, що виникають внаслідок добових і річних температурних коливань	72
2.4	Визначення міри пошкодженості асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах від розтягуючих напружень, що виникають внаслідок дії пневматичних коліс транспортних засобів	81
2.5	Алгоритм аналітичного опису тривимірної числової моделі...	85
2.6	Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів	90
2.7	Послідовність розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг.....	91
2.8	Висновки по розділу	94
РОЗДІЛ 3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУДАХ.....	96
3.1	Об'єкти експериментальних досліджень	97
3.2	Методи визначення властивостей досліджуваних асфальтобетонів	98
3.3	Результати експериментальних досліджень	102
3.3.1	Натурні дослідження асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.....	103
3.3.2	Визначення технологічних параметрів при модифікації бітуму полімером	106

3.3.3	Визначення фізико-механічних властивостей досліджуваних асфальтобетонів	112
3.3.4	Визначення параметрів функції довговічності	112
3.3.5	Визначення міцності зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві	113
3.3.6	Визначення глибини вдавлювання штампу	115
3.3.7	Визначення залишкових деформацій у вигляді колії	116
3.4	Числове моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевій транспортної споруди	121
3.5	Перевірка адекватності теоретичних рішень	136
3.6	Висновки по розділу	139
РОЗДІЛ 4	ПРАКТИЧНІ РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	141
4.1	Методика розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах	141
4.2	Вимоги до асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах	150
4.2.1	Вимоги до гідроізоляції на металевих транспортних спорудах .	150
4.2.2	Вимоги до асфальтобетонної суміші на металевих транспортних спорудах	154
4.3	Технологічні особливості асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах	158
4.4	Конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям підвищеної довговічності, що рекомендуються для металевих транспортних споруд	161
4.5	Висновки по розділу	164
	ВИСНОВКИ.....	165
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	168

ДОДАТКИ	192
Додаток А РЕЗУЛЬТАТИ ОБСТЕЖЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ОРТОТРОПНІЙ ЧАСТИНІ МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД НА ПРИКЛАДІ ПІВДЕННОГО ТА МОСКОВСЬКОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ (М. КИЇВ)	192
Додаток Б ПІДБІР ЗЕРНОВИХ СКЛАДІВ РІЗНИХ ТИПІВ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ ТА ЇХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ	205
Додаток В ФАКТИЧНІ ДЕФОРМАЦІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЛИСТА ОРТОТРОПНОЇ ПЛИТИ МЕТАЛЕВОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СПОРУДИ НА ПРИКЛАДІ ПІВДЕННОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ ЧЕРЕЗ Р. ДНІПРО В М. КИЄВІ	232
Додаток Г ЗАКОНОМІРНОСТІ ДІЇ ВПЛИВОВИХ ФАКТОРІВ ТА ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ОРТОТРОПНІЙ ПЛИТІ МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД.....	239
Додаток Ґ ТЕХНОЛОГІЯ УЛАШТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ЛИТОГО ПОКРИТТЯ НА ОРТОТРОПНІЙ ПЛИТІ МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД	244
Додаток Д ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСЕРТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	249
Додаток Ж ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК	257

ВСТУП

Актуальність теми

Найбільш розповсюдженими на ортотропній плиті автодорожніх мостів (далі – металевих транспортних споруд) є асфальтобетонні покриття. Недоліком такого покриття є виникнення як поздовжніх так і поперечних тріщин. Причина виникнення тріщин в асфальтобетонному покритті, полягає у неможливості скорочення його розмірів під час охолодження, при різкому зниженні температури навколишнього середовища, а також у результаті виникнення розтягуючих напружень, внаслідок дії пневматичних коліс транспортних засобів, що призводить до появи поперечних тріщин. Температурні тріщини є первинною та головною причиною виникнення інших видів руйнувань (сітки тріщин, зсуви та ін.). Внаслідок різниці коефіцієнтів лінійного температурного розширення асфальтобетону та металу прогонової будови, відбувається руйнування зв'язків між ними. Потрапляння води в зону контакту між покриттям та основою, при швидкому проїзді транспортних засобів, призводить до руйнування матеріалу в контактній зоні.

Відмінністю роботи асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд, порівняно із таким покриттям на транспортних спорудах із залізобетонною основою, є значна її деформативність. Вертикальні переміщення ортотропної плити, під час руху транспортних засобів, викликають в асфальтобетонному покритті знако-перемінні напруження, унаслідок чого відбувається поява характерних поздовжніх та поперечних тріщин, особливо в зоні над ребрами жорсткості ортотропної плити.

Із виникненням тріщин, що утворилися внаслідок зміни температури та коливання ортотропної плити від дії пневматичних коліс транспортних засобів, поступово погіршується рівність покриття, з'являються вибоїни, що призводить до зниження безпеки руху та створення аварійно-небезпечних ситуацій. З урахуванням цього, збільшуються витрати на утримання асфальтобетонних

покриттів металевих транспортних споруд, що піддаються завчасним руйнуванням. Частково або повністю зруйноване покриття призводить до пошкодження гідроізоляції. Це, у свою чергу, негативно впливає на міцність і довговічність несучих елементів транспортних споруд, що призводить до збільшення вартості та трудоемкості ремонтно-відновлювальних робіт.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Наукові результати, одержані в роботі, пов'язані з напрямками плану науково-дослідної роботи Національного транспортного університету «Теоретичні основи забезпечення довговічності асфальтобетонного покриття транспортних споруд з асфальтобетону на основі бітуму модифікованого полімерами» (д/б № 23, номер державної реєстрації 0103U003173), а також за планом науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України, а саме: «Провести моніторинг, дослідити утворення тріщин і залишкових деформацій в асфальтобетонних покриттях мостів та розробити альбом типових конструкцій мостового полотна» (д/б № 10-14, номер державної реєстрації 0114U001880), «Провести дослідження та розробити методику розрахунку асфальтобетонного покриття металевих автодорожніх мостів на довговічність» (д/б № 28-15, номер державної реєстрації 01154U001652), «Провести дослідження та розробити методику розрахунку асфальтобетонного покриття залізобетонних автодорожніх мостів на довговічність» (д/б № 164-14, номер державної реєстрації 0114U006452), «Розробка СОУ на метод приготування бітуму модифікованого полімерами та адгезивами за допомогою лабораторної лопатевої мішалки» (д/б № 90-11, номер державної реєстрації 0111U005440).

Мета і задачі досліджень. *Мета* досліджень – удосконалення методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Для досягнення мети роботи необхідно було вирішити наступні *задачі*:

- провести аналіз існуючих методів розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;
- розробити розрахункові схеми та встановити аналітичну залежність для удосконалення методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах за тріщиностійкістю, з урахуванням термореологічної поведінки асфальтобетону і спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;
- експериментально дослідити: розрахункові термореологічні характеристики литого та щебенево-мастикового асфальтобетонів з використанням полімерів; межу міцності на розтяг при згині, з урахуванням різного часу дії навантаження; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; залишкові деформації у вигляді колії; фактичні деформації горизонтального листа ортотропної плити під дією експлуатаційного навантаження, з метою моделювання максимальних розтягуючих напружень в асфальтобетонному покритті; закономірності дії впливових факторів на довговічність досліджуваних асфальтобетонів;
- розробити практичні рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

Об'єкт дослідження – асфальтобетонне покриття на металевих транспортних спорудах.

Предмет дослідження – довговічність асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

Методи дослідження – методи теорії пружності, теорії в'язко-пружності та кінетичної теорії міцності твердих тіл; стандартизовані та спеціальні методики дослідження властивостей бітумів модифікованих полімерами та асфальтобетонів; чисельне моделювання; планування багатфакторних експериментів; математична статистика та регресійний аналіз одержаних результатів.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше отримано закономірність зміни горизонтальних розтягуючих напружень в асфальтобетонному покритті металевої транспортної споруди в залежності від основних змінних факторів. Запропоновано умову граничного стану асфальтобетонного покриття за тріщиностійкістю, з урахуванням різного часу дії навантаження на розтяг при згині;
- удосконалено метод розрахунку довговічності за тріщиностійкістю асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;
- отримали подальший розвиток такі методики, як: випробування асфальтобетону на циклічну втому; визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості та термореологічних властивостей асфальтобетону; дослідження міцності зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; визначення залишкових деформацій асфальтобетону у вигляді колії; визначення межі міцності на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження; випробування натурних фактичних деформацій горизонтального листа ортотропної плити під експлуатаційним навантаженням.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблена методика розрахунку дозволяє проектувати асфальтобетонне

покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг підвищеної довговічності, а також номограма для визначення розтягуючих напружень при згині від одиничного навантаження в асфальтобетонному покритті на металевих транспортних спорудах.

Окрім того:

- встановлено кількісні та технологічні параметри модифікації бітуму полімерами з метою підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах;
- отримано для досліджуваних литих та щебенево-мастикових асфальтобетонів: розрахункові значення функції релаксації; функції довговічності; межу міцності на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження (0,1 с, 1,0 с, 10,0 с); коефіцієнти температурної тріщиностійкості та показники циклічної втоми; залишкові деформації у вигляді колії; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; деформації горизонтального листа ортотропної плити під експлуатаційним навантаженням металевої транспортної споруди;

Результати роботи використані при розробленні рекомендацій щодо будівництва, реконструкції та капітального ремонту асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд у м. Києві, а саме: Південного та Московського мостових переходів; улаштуванні гідроізоляційних матеріалів на металевих транспортних спорудах; проектуванні складів асфальтобетонів з підвищеною довговічністю за рахунок використання полімерів, а також при проведенні навчального процесу з дисциплін «Асфальтобетон» та «Будівельне матеріалознавство».

Особистий внесок здобувача

Дисертаційна робота є результатом самостійного наукового дослідження автора. Особистий внесок здобувача полягає в отриманні наукових результатів, викладених у даній роботі:

- аналіз існуючих методів розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного

впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, а також запропоновано умову граничного стану асфальтобетонного покриття за тріщиностійкістю, з урахуванням різного часу дії навантаження на розтяг при згині [3, 155, 156];

- розроблено розрахункові схеми, аналітичну залежність та удосконалено метод розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах за тріщиностійкістю з урахуванням термореологічної поведінки асфальтобетону і спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів [3, 163];
- визначені фактичні деформації горизонтального листа ортотропної плити під дією експлуатаційного навантаження, з метою визначення максимальних напружень в асфальтобетонному покритті [3, 169];
- експериментально отримано для досліджуваних асфальтобетонів [3, 153 – 156, 158, 159, 162, 164, 165, 173]: розрахункові термореологічні характеристики [3]; коефіцієнти температурної тріщиностійкості та показники циклічної втоми [3, 159, 162, 165]; параметри функції релаксації та параметри функції довговічності [3]; залишкові деформації у вигляді колії [156, 162]; межу міцності на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження [3]; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві [3]; деформації горизонтального листа ортотропної плити під експлуатаційним навантаженням металевої транспортної споруди [3, 169];
- розроблено практичні рекомендації та методика розрахунку щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах [3, 154, 160].

Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету №№ 64 – 71 в 2008 – 2015рр., а також на таких міжнародних наукових конференціях як: «Нові

дороги Росії» 14 – 17 листопада 2011р., Пенза, Росія; «Сучасні гідроізоляційні, захисні та покрівельні матеріали для промислового, цивільного та дорожнього будівництва. Технології виробництва та застосування» 23 – 24 листопада 2011р., Київ, Україна; «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» 28 – 31 травня 2012р., Луцьк, Україна; міжнародній конференції «Структурутворення, міцність і руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» 20 – 21 вересня 2012р., Одеса, Україна; «Проблеми теорії і практики будівельних конструкцій» 16 – 17 квітня 2013р., Одеса, Україна; 16-й конференції молодих вчених «Наука – майбутнє Литви» 8 травня 2013р., Вільнюс, Литва; «Проблеми підвищення якості та ресурсозбереження в дорожній галузі» 30 – 31 травня 2013р., Мінськ, Білорусь; 17-й конференції молодих вчених «Наука – майбутнє Литви» 8 травня 2014р., Вільнюс, Литва; XII міжнародній Всеросійській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія і науково-технічний прогрес. Урбаністика» 21 листопада 2014р., Пенза, Росія; 9-й міжнародній науковій конференції «TRANSBALTICA 2015» 7 – 8 травня 2015р., Вільнюс, Литва.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 16 друкованих робіт, у тому числі: 1 монографія, 11 статей у фахових виданнях, 2 у закордонних виданнях, 2 в працях і матеріалах наукових конференцій та 1 без співавторів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ОРТОТРОПНІЙ ПЛИТІ МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

1.1 Причини виникнення руйнувань в асфальтобетонному покритті на металевих транспортних спорудах

Досвід експлуатації металевих транспортних споруд показує, що забезпечити стійку роботу захисно-зчіпної системи дорожнього одягу – асфальтобетонного покриття – можливо тільки при умові забезпечення спільної роботи матеріалів дорожньої конструкції, яка має різні деформативні властивості. Обстеження та аналіз конструкцій дорожнього одягу металевих транспортних споруд свідчить про те, що застосовувані захисні шари з дрібнозернистого асфальтобетону не відповідають умовам експлуатації мостів [1 – 2]. Відсутність зчеплення асфальтобетону з епоксидно-гудронним шаром гідроізоляції призводить до появи різних видів деформацій: зсувів, колій, тріщин, а також до того, що термін служби асфальтобетонного покриття не перевищує двох років. У свою чергу дорожній одяг, що працює на металевій основі, повинен додатково витримувати екстремальні умови, обумовлені погодно-кліматичними діями і силовими деформаціями [4].

Різниця модулів пружності ортотропної плити та асфальтобетонного покриття призводить до: концентрації напружень між ними; нерівномірної передачі навантаження на металевих транспортних спорудах – випадок зосереджених зусиль, а дорогах рівномірно розподілена по всій товщині дорожнього одягу; швидшого прогрівання асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах у порівнянні із покриттям на автомобільних дорогах.

Наведені фактори вказують на актуальність даної проблеми та необхідність проведення досліджень.

Покриття на металевих транспортних спорудах перебувають у складних умовах експлуатації. На них у процесі служби діє ряд несприятливих факторів, а саме [5 – 13]: атмосферні опади, коливання температури, перемінне заморожування-відтавання води в порах і ушкоджених місцях, сонячна радіація, використання хімічних реагентів під час утримання покриття споруди, рідкі нафтопродукти й кислоти, що потрапляють на поверхню в процесі проїздів транспортних засобів, продукти згоряння палива у двигунах та циклічні навантаження при русі важкого транспорту, що викликають складний несприятливий напружено-деформований стан покриття в різних конструктивних сполученнях.

Дорожній одяг металевих транспортних споруд є складовим елементом їхньої проїзної частини та складається із шару покриття, що безпосередньо сприймає вплив транспортних навантажень і атмосферних факторів, а також несучого шару, що розподіляє й передає навантаження на нижче розташовані елементи проїзної частини [5 – 16].

Під впливом дії несприятливих факторів в процесі експлуатації, одним з перших елементів споруди, який виходить із ладу, є асфальтобетонне покриття [5 – 16].

Внаслідок пошкодження асфальтобетонного покриття виникає погіршення роботи конструкцій прогонових будов та опор через проникання атмосферної вологи, підвищується ступінь динамічного впливу від ударів коліс по нерівності покриття, що може викликати перевантаження окремих елементів споруд.

1.2 Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду влаштування нежорсткого дорожнього одягу на ортотропній плиті металевих транспортних споруд

Дорожній одяг на металевих транспортних спорудах відповідно до існуючої практики їх проектування, будівництва та експлуатації [6 – 17] є складовим елементом проїзду частини, що розташована зверху плит проїзної частини, захисного шару та гідроізоляції. Конструкція дорожнього одягу, як правило, складається із верхнього шару асфальтобетонного покриття, що безпосередньо сприймає дію транспортних навантажень і атмосферних факторів, та несучого нижнього шару асфальтобетонного покриття, що розподіляє і передає навантаження на розташовані нижче елементу проїзду. Інколи, несучий шар може бути відсутнім, тоді функції розподілення та передачі навантажень виконує єдиний шар асфальтобетонного покриття. Покриття може мати додатковий тимчасовий шар, що виконує роль захисного шару або шару зносу (поверхнева обробка та ін.). Він може влаштовуватись при новому будівництві, відновлюватися в процесі експлуатації або влаштовуватись замість зношеної частини покриття при виконанні середніх ремонтів.

Для асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд, з метою підвищення його довговічності, використовують асфальтобетон на бітумі модифікованому полімерами, а також спеціальні водонепроникні та високодеформативні асфальтобетони [1, 3]: литий, щебенево-мастиковий, дренажний, армований асфальтобетони, а також гідроізоляцію на полімербітумному в'язучому [3, 17– 27].

Широке застосування у світі, в якості покриття на металевих транспортних спорудах має литий асфальтобетон. Він готується на спеціальних бітумах і укладається спеціальною технікою за особливою технологією. Застосування литого асфальтобетону для покриття, суттєво підвищує гідроізоляційну здатність всієї конструкції дорожнього одягу, а «занурення» щебеню в литий асфальтобетон надає йому підвищених зчіпних властивостей з колесами автомобіля [17].

Уперше, в якості дорожнього покриття литого асфальтобетону були влаштовані 3200 років до н.е. у Вавілоні асирійцями та єгиптянами. В Європі перші покриття були влаштовані в 1810 – 1820 роках на мостах та тротуарах в м. Ліон, Франція. На той час не було змішувальних установок для приготування литих асфальтобетонів, тому його готували на будівельних майданчиках в котлах та транспортували до місця укладання вручну у відрах, а укладали його вручну [28 – 29].

У Німеччині перші покриття з литого асфальтобетону були влаштовані в 1908 році у Берліні, Мюнхені та Франкфурті-на-Майні виключно із застосуванням природних асфальтів. Литі асфальтобетони почали витіснити часто застосовувані до цього в містах традиційні асфальтобетони, що володіли підвищеною слизькістю, особливо під час дощу та створювали аварійність на автомобільних дорогах. Застосування у Німеччині литих асфальтобетонів викликало зростання об'ємів їх виробництва. В першу чергу це пов'язано з тим, що у литому асфальтобетоні відсутні пори, і після розрівнювання при укладанні такі покриття не ущільнюються під рухом транспорту, що забезпечує високу рівність покриття [28 – 29].

Так, у 1953 році в Німеччині, вперше було влаштовано покриття з литого асфальтобетону механізованим способом. Розвиток дорожньої інфраструктури, удосконалення та розробка нового устаткування для приготування та влаштування литих асфальтобетонів на автомобільних дорогах різних технічних категорій, привели до широкого його застосування у всіх країнах Європи [28 – 29].

Застосування перших установок для приготування литих асфальтобетонних сумішей та спеціальних сконструйованих перших асфальтоукладачів, призвело до широкого застосування литого асфальтобетону на автомобільних магістралях та дорогах всіх технічних категорій.

Значне збільшення об'ємів влаштування покриттів із застосуванням литих асфальтобетонів розпочалось після отримання натурних даних про

низьку стійкість традиційних асфальтобетонів в зимовий час до впливу автомобільних шин із сталевими шипами та хімічних речовин, які застосовувались для боротьби із зимовою слизькістю.

Швидке збільшення транспортного потоку та постійне зростання інтенсивності руху, дали можливість отримати ключове місце литому асфальтобетону у порівнянні з дрібнозернистим асфальтобетоном при будівництві автомобільних доріг. Така тенденція на користь литого асфальтобетону мала місце після того, як були отримані дослідні дані про підвищену зносостійкість звичайного асфальтобетону та цементобетону в зимовий період року через застосування шин «Спайкс» (шини із сталевими шипами), а також солей та інших хімічних речовин, що використовувалися для очищення снігу та льоду з дорожніх покриттів. Тенденція до широкого застосування литого асфальтобетону була прискорена удосконаленням асфальтоукладачів із збільшеною продуктивністю та результатами розробки більш досконаліших методів улаштування. При порівнянні термінів служби покриттів із звичайного та литого асфальтобетону на мережі автомобільних шляхів з'ясувалося, що покриття з литого асфальтобетону мають у 2 – 3 рази більший термін служби, ніж покриття з традиційного дрібнозернистого асфальтобетону при однаковій інтенсивності руху транспортних засобів. Це дало можливість зробити висновок, що покриття із литого асфальтобетону доцільніше будувати з економічної точки зору [19 – 29].

Швидкі темпи розвитку до початку 60-х років та постійне удосконалення гранулометричних складів литих асфальтобетонних сумішей призвели до значного збільшення щебеню за рахунок зменшення кількості піску та було встановлено введення природного асфальту в литі асфальтобетонні суміші. Зміни призвели до збільшення міцнісних властивостей литого асфальтобетону, підвищення шорсткості поверхні влаштованого покриття, однак зручність укладання та рухомість суміші не покращилась. Такі склади литих асфальтобетонних сумішей лягли в основу розробки нормативних документів у тогочасній Німеччині. Проте такі гранулометричні склади не завжди

задовольняли експлуатаційні показники за умови теплостійкості при високих температурах. Для забезпечення показників теплостійкості було вирішено збільшити кількість щебеню до 55 % за рахунок зменшення асфальтов'язучого. Дані зміни дали змогу забезпечити відповідне зчеплення колеса автомобіля із покриттям та підвищити стійкість до утворення пластичних деформацій.

У зв'язку із збільшення обсягів виробництва литого асфальтобетону в 1980 році в Німеччині було побудовано понад 3500 км покриття із застосуванням литого асфальтобетону.

Із багаторічного досвіду можна зробити висновок про те що, при раціонально підбраному та запроектваному гранулометричному складі литої асфальтобетонної суміші, литий асфальтобетон може витримувати навантаження від дії транспорту протягом тривалого періоду. При цьому, світова практика показує, що застосування литого асфальтобетону завдяки його високій деформативності особливо ефективно для покриттів на ортотропній плиті металевих транспортних споруд. Так, наприклад у Німеччині, можна відзначити покриття з литого асфальтобетону на ортотропній плиті металевій транспортної споруди, що експлуатується протягом 25 років [28 – 30].

Оскільки кількість асфальтов'язучого (бітумне в'язуче + мінеральний порошок) в литому асфальтобетоні значно більше, ніж в інших видах асфальтобетону, його зсувостійкість визначається структурно-механічними властивостями і зокрема в'язкістю цієї системи, яка в свою чергу, залежить від в'язкості бітуму та ступеня його структурування з мінеральним порошком. Цим обумовлено застосування в литому асфальтобетоні більш в'язких бітумів: (бітуми модифіковані полімерами, суміші бітуму з природним асфальтом та добавки на основі синтетичних восків) і підвищеної кількості мінерального порошку.

За кордоном, до недавнього часу, для виробництва литих асфальтобетонних сумішей використовували переважно природні бітуми. Лише в останні роки такі бітуми використовують в якості добавки (25 – 50 %) до нафтових дорожніх бітумів. Крім того, часто, для поліпшення характеристик

суміші в бітум вводяться різні полімерні добавки, в якості яких використовують полімери термоеластоласти типу СБС (стирол-бутадієн-стирол), але в деяких країнах, як наприклад у Франції [31], для цих цілей застосовується ЕВА (етилен-вініл-ацетат). Як і природний бітум, зазначені полімерні домішки вводяться при модифікації бітуму для підвищення температурної стійкості литого асфальтобетону.

Також, в якості верхнього шару покриття на металевих транспортних спорудах застосовується щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА) [17, 18, 32 – 37].

У Німеччині стандартне покриття для мостових споруджень має конструкцію, де в якості ізолюючого та несучого шару застосовується литий асфальтобетон, а як верхній шар – ЩМА товщиною 4 см.

На сьогоднішній день широко використовується влаштування дорожнього покриття з пористого мастикасфальту [18, 38, 39]. Внаслідок використання пористого мастикасфальту, можна забезпечити швидкий водовідвід, збільшити шумопоглинання і тим самим підвищити безпеку руху на покриттях металевих транспортних споруд.

У роботах Л.І. Дисихіна, Ю.А., Колбановського, Л.М. Гохмана, Г.М. Кирюхіна, В.М. Юмашева, В.І. Братчуна (ДонНАБА), В.О. Золотарьова (ХНАДУ), В.К. Жданюка (ХНАДУ), В.В. Мозгового (НТУ), В.Я. Савенка (НТУ), В.В. Проніна, А.М. Онищенко, разом із співробітниками Державного дорожнього науково-дослідного інституту імені М.П. Шульгіна (ДерждорНДІ) та ін., був проаналізований закордонний досвід та проведені дослідження майже всіх полімерів, що широко застосовуються при модифікації бітуму на території України. Результати досліджень показали, що асфальтобетони на бітумах модифікованих полімерами мають підвищені показники міцності, зсувостійкості, тріщиностійкості та довговічності, а також підвищенні показники водо- та морозостійкості [40 – 64].

В Україні, вперше проф. В.В. Мозговим були досліджені щебенево-мастикові та дренуючі асфальтобетони. [41].

Проте, дослідники та науковці з усього світу не зупиняються на досягнутому і продовжують дослідження з підвищення фізико-механічних властивостей бітумів модифікованих полімерами та вдосконалення гранулометричних складів асфальтобетонних сумішей на їх основі [40 – 42].

1.3 Існуючі типові конструкції дорожніх одягів на металевих транспортних спорудах

На сьогоднішній день в Україні на автомобільних дорогах загального користування державного значення експлуатується близько 211 металевих транспортних споруд, що дорівнює 14846 метрів погонних асфальтобетонного покриття. Дані транспортні споруди побудовані за нормативними вимогами 60-х та 80-х років ХХ-го століття [1 – 2].

Найбільш розповсюдженим покриттям (близько 95 %) на металевих транспортних спорудах є асфальтобетонне покриття з використанням водопроникних дрібнозернистих асфальтобетонів, що призводить до інтенсивного утворення тріщин, напливів та колії.

Проте, у відповідності до чинного нормативу [1] покриття проїзної частини на ортотропній плиті металевих транспортних споруд не дозволяється влаштовувати із звичайного асфальтобетону. Для покриття завтовшки від 4 см слід застосовувати водонепроникні конструкції з мінімальним терміном експлуатації 15 років і більше.

Товщина гідроізоляційного матеріалу та сам гідроізоляційний матеріал, що влаштовується між ортотропною плитою та асфальтобетонним покриттям проїзної частини, має прийматись за окремими рекомендаціями, а проектний строк служби гідроізоляції має бути не меншим ніж прийнятий проектний строк служби самого покриття.

Асфальтобетонне покриття на металевих транспортних спорудах повинне виконувати такі основні функції [1]:

- забезпечувати передачу силового впливу від транспортних засобів на основу або несучі конструкції;
- захищати нижні шари і конструкції від механічного впливу коліс транспортних засобів, виступаючи в якості шару зносу;
- захищати нижні шари і конструкції від впливу навколишнього середовища (температурних полів, вологості, хімічних реагентів тощо);
- виконувати гідроізоляційну роль у поєднанні з гідроізоляційним матеріалом.

До влаштування асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах висуваються більш розширені вимоги в порівнянні з покриттям, що влаштовується на автомобільних дорогах та на залізобетонних транспортних спорудах.

Загальні конструктивні вимоги до асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд зводяться до наступного [1, 2]:

- забезпечення плавного та безпечного руху, виконання захисних функцій від атмосферних опадів та інших зовнішніх факторів;
- збереження призначених геометричних форм і розмірів протягом усього строку служби споруди;
- достатня міцність і жорсткість для сприйняття всіх видів навантажень, максимально легка вага;
- довговічність, що дорівнює строку служби інших елементів споруди;
- можливість легкого демонтажу під час проведення ремонтів;
- економічність.

У якості металевої основи асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах можуть бути: балочна клітка – сукупність поперечних і поздовжніх балок; плоска або ребриста плита і ортотропна плита – зварна сталева конструкція, що складається з листа, який підкріплений ребрами жорсткості.

У сучасних металевих транспортних спорудах, особливо великопролітних (більше 100 м), використовуються в основному металевим ортотропний настил,

який складається з горизонтального сталевого листа товщиною 12 – 18 мм із привареними до нього поздовжніми ребрами жорсткості, зазвичай з кроком 25 – 35 мм. Висота ребер приблизно дорівнює $1/8 - 1/10$ відстані між поперечними балками, що підтримують настил. Існують наступні види ортотропного настилу: із смугової сталі, швелерні, кутникові, таврові, смугова сталь з потовщенням на кінці, з прокатних кутників, із гнутого листа [3].

Ребра виконують з прокату різного профілю. Вони можуть мати як відкритий, так і замкнутий профіль. Ребра замкнутого профілю [3] розташовують через 50 – 70 см, при цьому збільшується жорсткість ортотропного настилу.

Конструкція проїзної частини з ортотропною плитою включає також поперечні балки, які входять до складу плити і передають навантаження на головні балки транспортної споруди.

Відведення води з проїзної частини транспортних споруд здійснюється за допомогою поперечного та поздовжнього ухилів. Раніше поперечний ухил забезпечували шляхом зміни товщини дорожнього одягу, збільшуючи її від країв до осі. Але це підвищувало її масу в 1,2 – 1,6 рази [1 – 3]. А так як застосування ортотропної плити вимагає влаштування досить легкого дорожнього одягу, то в даний час поперечного ухилу стали домагатися за допомогою відповідного нахилу плити проїзної частини, що дозволяє уникнути збільшення постійного навантаження від асфальтобетонного покриття, яке укладають однією товщиною по всьому поперечному перерізу.

Останнім часом важливого значення набула проблема влаштування асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті проїзної частини металевих транспортних споруд. Якщо в залізобетонних спорудах його вага становить малу частину постійного навантаження, то в металевих спорудах вона може бути досить значною. Прагнення знизити постійне навантаження і збільшити довговічність асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах призвело до використання в конструкції дорожнього одягу металевих

транспортних споруд асфальтобетонів на основі бітумів модифікованих полімерами.

Під дією тимчасового рухомого навантаження елементи прогонової будови металевої транспортної споруди працюють в основному на вигин, а плита проїзної частини разом із асфальтобетонним покриттям перебувають у складному (переважно плоскому) напруженому стані.

Асфальтобетонне покриття на ортотропній плиті металевої транспортної споруди працює інакше, аніж на земляному полотні автомобільної дороги. Воно працює в більш несприятливих умовах, так як жорсткість ортотропної плити як в поздовжньому так і в поперечному перерізі різна. В асфальтобетонному покритті при проходженні навантаження по металевій споруді виникають значні деформації та напруження [1 – 3, 65]. У таких умовах традиційні типи асфальтобетонів не надійні та не довговічні [1 – 3, 65].

Особливістю роботи ортотропної плити є те, що вона працює на зосереджену дію тимчасового рухомого навантаження, а в складі прогонової будови на загальний вплив тимчасових і постійних навантажень.

Аналіз роботи асфальтобетонного покриття на існуючих металевих транспортних спорудах з ортотропною плитою проїзної частини, свідчить про те, що наявні істотні деформації пов'язані у великій мірі з піддатливістю асфальтобетонного покриття.

Необхідно відзначити наступні специфічні умови роботи асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, а саме: його більш інтенсивна зміна температури, що обумовлено більшою продуваністю споруди та тим, що воно укладається безпосередньо на металеві конструкції, які є менш теплоємними та більш теплопровідними; різниця в коефіцієнтах температурного розширення асфальтобетону та ортотропної плити; агресивний водно-температурний режим.

Як вже зазначалося, порівняльний аналіз роботи асфальтобетонного покриття на земляному полотні та на транспортних спорудах показав, що вони знаходяться в різних умовах і відповідно працюють по-різному [66 – 68]. Тому,

конструкції дорожніх одягів на металевих транспортних спорудах, моделі деформування і методи розрахунку дорожніх одягів є іншими, аніж для дорожніх одягів на земляному полотні.

Труднощі побудови розрахункових моделей (схем) і розробки методів розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах визначаються рядом причин. На склад і роботу дорожнього одягу на земляному полотні та на металевих транспортних спорудах впливають мінливі природні чинники, до дії яких конструктивні шари дорожнього одягу в тій або іншій мірі чутливі. Асфальтобетонне покриття піддається складній по своєму характеру дії рухливих зовнішніх навантажень: короточасних і таких, що багато разів повторюються.

До дорожнього одягу на металевих транспортних спорудах застосовуються наступні вимоги [1 – 3, 69]: міцність і стійкість до дії транспортних засобів; довговічність; достатня рівність поздовжнього і поперечного профілів; висока зносостійкість; достатня шорсткість; стійкість до погодно-кліматичних факторів; повинне складатися з невеликої кількості шарів з мінімально допустимими товщинами; захищати нижні конструкції від механічної дії, виступаючи в якості шару зносу; захищати нижні конструкції від впливу погодно-кліматичних факторів та служити гідроізоляційним бар'єром для ортотропної плити; забезпечувати оптимальну передачу навантаження від транспортних засобів на несучі конструкції.

Для того щоб розробити більш раціональну і довговічну конструкцію дорожнього одягу на металевій транспортній споруді, відповідну наведеним вимогам, потрібно мати розрахункові схеми для чисельного моделювання поведінки асфальтобетонного покриття, які дозволили б більш об'єктивно враховувати механічні властивості матеріалів шарів, їх взаємодію та вплив температури.

Конструкції дорожніх одягів на металевих транспортних спорудах складаються з декількох шарів [70, 71], які виконують специфічні функції.

Типи конструкцій дорожніх одягів на ортотропній плиті проїзної частини [72 – 74]:

- найбільш вживана в 90-х роках минулого століття конструкція дорожнього одягу з використанням захисно-зчіпного шару наступна: антикорозійний шар, захисний шар, двошарове асфальтобетонне покриття, щебінь, ортотропна плита [3, 75];
- конструкція дорожнього одягу із застосуванням полімербітумних матеріалів наступна: полімербітумний литий асфальт + камінь для створення шорсткої поверхні товщиною 40 мм; щільний асфальтобетон товщиною 40 мм; гідроізолююча мастика 20 мм; обмазка розрідженим бітумом; антикорозійне покриття (праймер); ортотропна плита проїзної частини [3, 72].

В даний час, у якості дорожнього одягу на металевих транспортних спорудах набув поширення щільний асфальтобетон, але найчастіше цей тип покриття на ортотропних плитах має строк служби 2 – 5 років. На думку фахівців мостового господарства причини тут не лише в незадовільній якості асфальтобетону. Ті типи і склади асфальтобетону, які застосовуються на автомобільних дорогах і автоматично переносяться на конструкції споруди, не призначені для роботи в настільки специфічних умовах. Звичайно, як помічено багатьма фахівцями, включення асфальтобетонного покриття в спільну роботу з ортотропною плитою споруди призводить до зниження у дорожньому одязі напруження, а отже, і до збільшення строку їх служби, але разом із тим, він залишається більш низьким, ніж на автомобільних дорогах. Значить, включення асфальтобетонних дорожніх одягів в роботу всієї конструкції споруди – є умова обов'язкова, але не достатня для досягнення розрахункової довговічності [75].

Варіанти конструкцій дорожнього одягу, що застосовуються на металевих транспортних спорудах, були проаналізовані фахівцями та наведені в таблиці 1.1 [3, 75]. Як показує аналіз цієї таблиці, на металевих транспортних спорудах у якості дорожнього одягу на ортотропній плиті, в основному, застосовується двошаровий щільний асфальтобетон товщиною 80 – 110 мм.

Відмінності конструкцій стосуються насамперед варіювання захисно-зчіпного шару, який є також гідроізоляцією транспортної споруди.

Таблиця 1.1 – Конструкції дорожніх одягів, що застосовуються на металевих транспортних спорудах

Тип покриття (країна-розробник)	Конструкція дорожнього одягу	Дефекти і результати експлуатації
1	2	3
1. Конструкція по СНиП 3.06.04 з епоксидним компаундом для захисно-зчіпного шару (СРСР)	1. Антикоровий шар ЕП-057 товщиною 60 мкм 2. Захисно-зчіпний шар на основі епоксидних компаундів із щебенем товщиною 1,0 – 1,5 мм 3. Двошарове асфальтобетонне покриття товщиною 70 мм	Після п'яти років експлуатації порушено асфальтобетонне покриття і місцями гідроізоляція, а після 10 років – повністю порушено покриття та гідроізоляція
	1. Захисно-зчіпний шар з епоксидного компаунда зі щебенем товщиною 1,0 – 1,5 мм 2. Двошарове асфальтобетонне покриття товщиною 80 – 105 мм	Задовільне
2. Конструкція із захисно-зчіпним шаром із рулонних наплавляючих матеріалів ізопласт, мостопласт (Росія)	1. Захисно-зчіпний шар із рулонного матеріалу ізопласт (мосто-пласт) товщиною 5,5 мм 2. Двошарове асфальтобетонне покриття товщиною 110 мм	Адгезія гідроізоляції з плитою проїзної частини і асфальтобетоном добра
3. Конструкція із захисно-зчіпним шаром із самоклеючих рулонних матеріалів Бітутен і Бутішїлд (Англія)	1. Бітумно-каучукова ґрунтовка 2. Шар рулонного матеріалу Бітутен товщиною 1,5 мм 3. Шар рулонного матеріалу Бутішїлд товщиною 2 мм 4. Асфальтобетонне покриття товщиною 105 мм	Добра адгезія з плитою проїзної частини і покриттям
4. Конструкція з мастичним шаром Сервідек-Сервіпак (Англія)	Мастиковий бітумно-каучуковий шар товщиною 2 мм 2. Захисний шар з бітумно-мінеральних плит товщиною 6 мм 3. Асфальтобетонне покриття товщиною 110 мм	На металевих спорудах при коливаннях не утворюються тріщини в захисних плитах
5. Конструкція із застосуванням поліуретанового захисно-зчіпного шару Ромекс (Німеччина)	1. Антикоровий шар наповнена цинком ґрунтовка в два шари товщиною 80 мкм 2. Поліуретановий захисно-зчіпний шар 3. Адгезійний шар 4. Двошарове асфальтобетонне покриття товщиною 80 мм	Через рік експлуатації асфальтобетонне покриття в місцях пошкоджень антикоровий захисний шар зруйноване
6. Конструкція із застосуванням епоксидного компаунда для захисно-зчіпного шару + буферний шар Зика (Німеччина)	1. Антикоровий шар товщиною 60 мкм 2. Епоксидний компаунд захисно-зчіпного шару завтовшки 1 мм із зануренням щебеню 3. Буферний шар з литого асфальтобетону товщиною 3 мм із зануренням щебеню 4. Двошарове асфальтобетонне покриття товщиною 110 мм	При влаштуванні на металевих спорудах утворюються тріщини в покритті

Кінець табл. 1.1

1	2	3
7. Конструкція із застосуванням мембранної гідроізоляції «Елімінатор» (Туреччина)	1. Цинкування 2. Антикорозійний шар 3. Гідроізоляційна мембрана «Елімінатор» (Eliminator ®) 4. Зчіпний шар покриття 5. Шар покриття з Мاستикасфальту товщиною 35 мм	Задовільне
8 Конструкція із застосуванням мембранної гідроізоляції «Парафор Містрал» (Голандія)	1. Праймер / Ґрунтовка 2. Гідроізоляційна мембрана Parafor Mistral C товщиною 4 мм 3. Нижній шар з литого асфальтобетону на бітумі модифікованому полімером товщиною 25 мм 4. Гідроізоляційна мембрана Parafor Ponds товщиною 5 мм 5. Верхній шар з пористого асфальтобетону на бітумі модифікованому полімером товщиною 35 мм	Покриття знаходиться в задовільному стані, протягом десяти років експлуатації почали з'являтися тріщини в покритті.
9. Конструкція із мастичним захисно-зчіпним шаром і покриттям із литого асфальтобетону (Фінляндія-Росія)	Антикорозійний шар 2. Обмазка прогумованим бітумом КВ товщиною 3 мм 3. Ізоляційна мастика Леммастікс товщиною 20 мм 4. Посипка щебенем 5. Нижній шар покриття з дрібнозернистого асфальтобетону АВ товщиною 40 мм 6. Верхній шар з литого асфальтобетону Лемфальт товщиною 40 мм з посипанням щебенем	Протягом п'яти років дефекти покриття не спостерігаються
10. Конструкція із застосуванням композиції «Полікров» (Росія)	1. Мастика «Полікров М-140» 2. Рулонний полімерний матеріал «Полікров Р-200» 3. Двошарове асфальтобетонне покриття із застосуванням модифікованого ДСТ бітуму (БМП) товщиною 80 мм	Через три роки експлуатації на асфальтобетонному покритті з'явилися поздовжні і безладні тріщини, а також тріщини в результаті спучування асфальтобетону. Стан гідроізоляції гарний

Дорожні одяги з використанням литого асфальтобетону, що у свій час були розроблені та запропоновані компаніями із Німеччини та Фінляндії, застосовуються рідше.

Конструкції дорожніх одягів із асфальтобетонним покриттям на металевих транспортних спорудах зводяться до чотирьох варіантів [3, 75], із яких лише запропонований фінською фірмою варіант із покриттям із литого асфальтобетону через п'ять років експлуатації не виявляє дефектів [3, 75], а

решта [3, 75], вже після першого року експлуатації мають ушкодження у вигляді тріщин з переважанням поздовжніх тріщин, що свідчить більшою мірою про невідповідність дорожньої конструкції режиму її роботи, а ніж про незадовільну якість асфальтобетонного покриття, так як ці дефекти характерні як для асфальтобетону на традиційному бітумі, так і на бітумі модифікованому полімерами.

На сьогоднішній день існують наступні конструкції дорожніх одягів на ортотропній плиті [3, 75]:

- конструкція із використанням матеріалів фірми Sika, що застосована на Бережковському мосту в м. Москва (Росія): двошарове асфальтобетонне покриття, яке складається із щебеню (піску) обробленого органічним в'язучим, буферного шару з матеріалу «Еша», кварцового гравію (піску), захисно-зчіпного шару, антикорозійного шару та ортотропного настилу;

- конструкція із використанням технологій фірми Леммінкяйнен, що застосована на мосту через р. Волгу в с. Пристай (Росія): полімербітумний литий асфальтобетон Лемпруф з посипанням щебеню, асфальтобетон АВ, щебенева посипка для зчеплення, ізоляційна мастика Леммастікс, обмазка прогумованим бітумом KB, антикорозійне покриття KBL, ортотропний настил;

- конструкція дорожнього одягу з поліуретановим захисно-зчіпним шаром фірми Ромекс, що застосована на мосту через р. Москву на автомобільній дорозі Москва – Рига (Росія): асфальтобетонне покриття, адгезійний шар з матеріалу ROMPUR 900 або COSJPUR 79, захисно-зчіпний шар з матеріалу ROMPUR 2605, ґрунтовий антикорозійний шар з матеріалу ROMPOX 8101, ортотропний настил;

- конструкція дорожнього одягу з використанням гідроізоляційного рулонного матеріалу «Полікров», що застосована на мосту через р. Об у м. Сургут (Росія): двошаровий асфальтобетон на полімербітумному в'язучому, гідроізоляційний матеріал «Полікров Р-200», що приклеюється до металевої плити за допомогою полімерної мастики «Полікров М-140», ортотропний настил.

Аналіз конструкцій дорожніх одягів на металевих транспортних спорудах показав, що деякі шари є конструктивними (гідроізоляція, антикорозійне покриття і т.п.), тому в розрахунках і розрахункових схемах слід враховувати лише ті, які передають навантаження і працюють, як одна система. Сучасні тенденції в розвитку покриттів на металевих транспортних спорудах полягають у передачі одному шару дорожнього одягу функцій, які зазвичай виконуються різними шарами в конструкції дорожнього одягу на земляному полотні, що призводить до значного зменшення постійного навантаження на плиту проїзної частини і дає можливість зменшення товщини матеріалу плити проїжджої частини [76 – 77].

На таких транспортних спорудах застосовуються два типи дорожнього одягу:

- важкі – багатошарові (товстошарові) на основі бітумних матеріалів поліпшеної якості;
- легкі – тонкошарові дорожні одяги (по металевій ортотропній плиті проїзної частини) на основі полімерних смол, що дозволяють створити довговічну конструкцію з високими експлуатаційними характеристиками.

Застосовувані типи дорожніх одягів мають як переваги, так і недоліки. Найбільш істотний недолік товстошарових дорожніх одягів, уникнути якого неможливо – їх порівняно велика вага. Застосування таких дорожніх одягів дозволяє забезпечити передачу навантаження за рахунок товщини конструкції. Для тонкошарових дорожніх одягів найбільш істотним недоліком можна вважати їх незадовільну тріщиностійкість і, як наслідок, малу довговічність. У тонкошарових дорожніх одягах виникає більший градієнт напружень [78, 79].

Аналіз роботи транспортних споруд показує, що для металевих споруд з великими прольотами найбільш перспективні легкі покриття, а для середніх і малих прольотів – важкі. Однак, більш раціональним є використання тонкошарових покриттів, так як вони працюють більшою площею, але при цьому необхідно забезпечувати можливість більшого розподілу навантаження від автотранспорту і зчеплення всіх шарів конструкції з ортотропною плитою

проїзної частини транспортної споруди. Якщо в конструкції дорожнього одягу не забезпечене зчеплення шарів з плитою проїзної частини металевої споруди, то її розрахункова схема буде істотно відрізнятися від розрахункової схеми, в якій забезпечено зчеплення всіх шарів конструкції дорожнього одягу та плити проїзної частини металевої транспортної споруди.

Приймаючи на металевих транспортних спорудах в якості дорожнього покриття традиційний щільний асфальтобетон, в'яжучі, за твердженням деяких вчених, слід було б обирати за дещо іншими критеріями, порівняно з покриттями автомобільних доріг [3].

Є певний досвід застосування бітуму модифікованого полімерами на основі полімеру ДСТ [27]. Однак, технологія влаштування асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах з використанням такого в'яжучого досить складна.

За кордоном також поки-що немає програми розрахунку товщини дорожнього одягу на металевих транспортних спорудах, але робота в цьому напрямку ведеться [3]. Крім того, асфальтобетонні суміші (в тому числі і характеристики в'яжучого) вибираються спеціально для конкретних умов роботи асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті, хоча і емпіричним шляхом.

Аналіз конструкцій дорожніх одягів на металевих транспортних спорудах показав, що деякі шари є конструктивними (гідроізоляція, антикорозійне покриття тощо), тому в розрахунках і розрахункових схемах слід враховувати тільки ті конструктивні елементи, які передають навантаження і працюють як одна система. Сучасні тенденції в розвитку асфальтобетонних покриттів на металевих транспортних спорудах полягають у передачі одному шару дорожнього одягу функцій, які зазвичай виконуються різними шарами в конструкції дорожнього одягу на земляному полотні, що призводить до значного зменшення постійного навантаження на плиту проїзної частини і дає можливість економії матеріалу плити проїзної частини [76, 77].

1.4 Існуючі моделі і методи розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах

Для оцінки довговічності з позиції тріщиностійкості асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах розроблялися різні методики. Вивченню цих методик присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних дослідників, таких як: А.Г. Батракова, О.І. Безбабичева, В.І. Братчун, О.І. Васильєв, О.Є. Гаврилов, І.П. Гамеляк, Л.Б. Гезенцвей, Л.М. Гохман, В.К. Жданюк, В.Г. Кваша, П.М. Коваль, М.М. Корнєєв, М.П. Лукін, Й.Й. Лучко, В.В. Мозговий, В.Б. Назаренко, І.Г. Овчинніков, В.Г. Піскунов, Б.С. Радовський, І.Д. Сахарова, В.П. Снітко, Н.Є. Страхова, Г.К. Сюньї, Г.Б. Фукс, В.І. Шестериков, Г. Маклуфа, Ф. Манке, К. Монисміт, М. Нейдерлін, Л.В. Ніжбоєра, Л. Редер, Ж. Юдрон та ін.

На основі проведених досліджень різними авторами в роботах [5, 8, 10, 11, 15, 27, 35, 36, 41 – 43, 45 – 48, 51, 56, 68, 69, 78, 80 – 94] встановлено, що температурні тріщини виникають від діючих в асфальтобетонному покритті розтягуючих напружень, які зумовлені зміною температури. Це призводить в свою чергу до температурного розтріскування.

Роботи Л. Редера, Н.М. Распопова, В. Бельковського, М.М. Іванова, Г.К. Сюньї, А.М. Богуславського, Б.І. Ладигіна, И.К. Яцевича, Ю.Є. Нікольського, В.М. Пискліна, В.О. Зикова та ряду інших дослідників, присвячені оцінці тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів з позиції впливу температурного фактору. Для визначення температурних напружень використовувались рішення, які не враховували або недостатньо враховували зміну реологічних властивостей матеріалів із зміною температури. Це є одним із недоліків наведених робіт, так як відомо, що зміна температури може приводити до значних змін механічних властивостей асфальтобетону. В той же час, за останні роки, завдяки багатьом дослідженням проведеним на основі теорії термов'язкопружності [5 – 18, 74 – 79 та ін.], створено наукову базу для аналізу термореологічних властивостей асфальтобетону з урахуванням зміни

температури. Це дозволило більш об'єктивно на експериментальному рівні розкрити основні закономірності реологічної поведінки асфальтобетону з урахуванням зміни температури [40 – 46].

Одночасно, на базі сучасних уявлень про міцність та довговічність в'язкопружних матеріалів, у ряді робіт були одержані експериментальні дані про характер процесів руйнування асфальтобетону та теоретичні залежності для оцінки їх довговічності з урахуванням температури та режиму навантаження [40 – 46].

На основі таких досліджень встановлено, що модуль пружності асфальтобетону суттєво залежить як від температури, так і від тривалості дії навантаження. Причому в діапазоні реальних значень їх зміни, значення модуля пружності може змінюватись на декілька порядків. У той же час, міцність на розтяг змінюється всього в межах одного порядку. Характерно, що міцність на розтяг має максимум в залежності від температури: із збільшенням швидкості навантаження або деформування він зміщується в сторону плюсових температур. Отримані експериментальні результати свідчать про суттєву релаксацію напружень в асфальтобетоні навіть при низьких температурах. Так, при $T = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ напруження за одну хвилину може відрелаксувати до 50 % в залежності від якості в'язучого та його характеристик. При дослідженні термо-в'язкопружних властивостей асфальтобетону було встановлено, що в діапазоні низьких температур ($T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), характерних для відчутного термо-напруженого стану, асфальтобетон проявляє властивості лінійного термореологічно простого тіла. До нього можна застосувати принцип температурно-часової аналогії, а також характерний лінійний зв'язок між напруженнями та деформаціями. Також встановлено, що для асфальтобетону характерним є часовий характер руйнування. Тривалість руйнування в дослідях на статичну втому залежить від рівня розтягуючих напружень та температури, і може змінюватись на декілька порядків [5 – 18, 74 – 79 та ін.].

Таким чином, отримані в попередніх роботах експериментальні дослідження свідчать про суттєвий вплив термореологічних і термомеханічних

параметрів на характеристики міцності та деформативні показники властивостей асфальтобетону, а також виявляють специфічні особливості його термореологічної поведінки, що впливають на термонапружений стан асфальтобетонного покриття і на утворення в ньому тріщин у зв'язку із зміною температури.

На основі встановлених даних можна констатувати, що утворенню температурних тріщин в покритті передують довготривалий процес зміни термонапруженого стану при річних і добових коливаннях температури. Асфальтобетон в широкому спектрі діючих температур та тривалості дії напружень і деформацій, а також швидкості їх зміни, проявляє властивості термореологічного тіла. У ньому розвиваються процеси повзучості та релаксації навіть при низьких від'ємних температурах. В області температур, з урахуванням тривалості дії температурних напружень, що викликають утворення температурних тріщин, асфальтобетон проявляє властивості, подібні лінійному термореологічному простому матеріалу. Граничний стан при утворенні температурних тріщин в покритті настає в результаті поступового накопичення пошкоджень структури асфальтобетону через статичну та динамічну втому матеріалу, властиву кінетичному характеру руйнування.

Завдяки отриманим результатам в попередніх роботах [5 – 18, 74 – 79 та ін.] встановлено, що температурні макротріщини є наслідком розриву суцільності асфальтобетону в результаті поступового чи швидкого накопичення незворотного ушкодження його структури по всьому перетині покриття. Накопичення пошкоджень структури асфальтобетону проходить через розрив зв'язків у матеріалі внаслідок дії розтягуючих напружень різноманітного походження, які в свою чергу виникають в результаті охолодження при коливаннях температури, одночасно викликаючи зміну термореологічних властивостей асфальтобетону.

Незважаючи на досягнуті успіхи та можливості в області визначення напружень і деформацій, а також оцінки міцності асфальтобетонів, ці дані ще не знайшли належного застосування при розробці методик оцінки

температурної тріщиностійкості асфальтобетонного покриття. Фактично, при вивченні питань температурної тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів, більшість робіт було направлено на одностороннє врахування даних факторів.

У той же час, в останні роки з'явилися роботи, в яких у комплексі враховувались термореологічні властивості при визначенні як термонапруженого стану асфальтобетонного покриття, так і його граничного стану при зміні температури [8, 36, 41 – 43, 45, 46, 48 та ін.]. До такого напрямку відносяться роботи О.Г. Бабака, С.В. Пономарьової, Л.С. Губача, Б.С. Радовського, В.В. Мозгового, О.Ю. Мерзлікіна та інших дослідників.

У цих роботах при оцінці температурної тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів більш реально враховувалась зміна температури з урахуванням добових та річних її коливань. При визначенні термонапруженого стану враховуються термов'язкопружні властивості асфальтобетону, параметри та показники яких встановлюються на основі експериментальних досліджень. Використовуються умови граничного стану, в яких враховується зміна температури асфальтобетону в часі, а також зміна його термомеханічних властивостей від температури, температурних напружень в часі, циклічність їх дії та інші діючі фактори.

У той же час, майже всі розглянуті вище роботи відносяться до оцінки температурної тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг, які автоматично переносяться на асфальтобетонні покриття металевих транспортних споруд. Проте розрахункові схеми, що наведені в цих роботах, не достатньо повно враховують особливості роботи асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

У роботі [97] автором запропоновано чотири основні гіпотези граничного стану матеріалів в класичній теорії пружності, які стосуються найбільшого нормального напруження σ_{max} , лінійної відносної деформації ε_{max} , найбільшого напруження τ_{max} та питомої потенційної енергії формозміни u_{max} .

Вихідною інформацією про міцнісні властивості матеріалу, при вивченні тривалої міцності, є результат випробування на довговічність при постійному

навантаженні (наприклад, в умовах осьового розтягу) та постійній температурі T . При цьому, визначають залежність часу до руйнування t^* від напруження та температури, або навпаки – залежність граничного напруження σ^* , що витримує зразок, від тривалості дії постійного навантаження та від температури [97]:

$$t^* = t^*(\sigma, T), \quad (1.1)$$

$$\sigma^* = \sigma^*(t, T). \quad (1.2)$$

У деяких випадках комплексне врахування часу дії навантаження при визначенні деформаційних та міцнісних характеристик здебільшого стосувалося оцінки тріщиностійкості асфальтобетонних шарів в залежності від коливань температури, а також епізодично (не систематизовано) враховувалось при оцінці тріщиностійкості від дії транспорту.

Якщо припустити, що впродовж деякого періоду часу t_p напруження σ_i та температура T_i змінюються n разів, після чого настає руйнування матеріалу, то у відповідності з правилом лінійного сумування пошкоджень модель довготривалої міцності при нестационарному режимі навантаження [36 – 39, 97] матиме вигляд:

$$\frac{t_1}{t_1^*} + \frac{t_2}{t_2^*} + \dots + \frac{t_n}{t_n^*} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{t_i^*} = 1, \quad (1.3)$$

де t_i – фактичний час дії напруження σ_i при температурі T_i , t_i^* – час до руйнування при постійних значеннях температури T_i та напруження σ_i .

Тоді, сума фактичних періодів часу дії навантаження буде відповідати часу до руйнування матеріалу t_p [97].

Авторами [36 – 39, 97] було встановлено, що згідно правила лінійного накопичення пошкоджень, руйнування моделі від втоми при нестационарному режимі відбулось після n режимів. Тому приймаємо, що навантаження на j -у режимі амплітуди змінних напружень σ_j виникала в числі циклів N_j .

Тоді, загальне число циклів до руйнування буде рівним:

$$N_p = \sum_{j=1}^n N_j, \quad (1.4)$$

де N_j – фактична кількість циклів навантаження з амплітудою напруження σ_j .

Специфічність транспортного потоку на металевих транспортних спорудах та режим його руху, зменшення тривалості дії навантаження внаслідок зменшення середньої швидкості руху, у порівнянні з дорогами загального користування, можуть бути враховані при застосуванні кінетичної теорії міцності твердих тіл та теорії термов'язкопружності [36 – 39, 97]. У даному випадку граничний стан можна описувати умовами довготривалої міцності Іллюшина чи Бейлі, відповідно:

$$\int_0^{t_p} \frac{d\sigma(t)}{\sigma^*(\sigma(t_p - t), T(t))} \leq 1, \quad (1.5)$$

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{t^*(\sigma(t), T(t))} \leq 1, \quad (1.6)$$

де t_p – час до руйнування (розтріскування) покриття; t^* – функція довговічності асфальтобетону; σ^* – граничне напруження асфальтобетону; $\sigma(t)$ – напруження в асфальтобетоні; $T(t)$ – температура асфальтобетону.

На противагу критерію Бейлі, при якому результат розрахунку не залежить від черговості прикладання імпульсів напруження різної величини, умова А.А. Ільюшина враховує історію навантаження [8, 97].

Так, В.В. Мозговим досліджено, що видно передумови, закладені в критеріях Бейлі (1.7) і Ільюшина (1.8), в деякому розумінні протилежні.

Спочатку розглянемо критерій Бейлі. Припустимо, що напруження σ і температура T довільно змінюються в часі. Тоді протягом малого проміжку часу dt від t до $(t+dt)$ можна вважати напруження рівним $\sigma(t)$, а температуру $T(t)$. Якби до зразка було докладено від початкового моменту до руйнування постійну напруження $\sigma=\sigma(t)$ при постійній температурі $T=T(t)$, то його довговічність до руйнування згідно з випробуваннями на тривалу міцність залежності (1.7) становила б $t^*(\sigma(t), T(t))$. Тому відносне зменшення довговічності зразка внаслідок дії на нього напруження при температурі $T(t)$ протягом dt характеризує зміну міри пошкодженості і дорівнює $dt/t^*(\sigma(t), T(t))$. Сумарна міра пошкодженості за Бейлі M_{t1}^B за час t_1 зміни напружень і температури, відповідно, буде дорівнювати:

$$M_{t1}^B = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^*(\sigma(t), T(t))} = 1. \quad (1.7)$$

Тут під мірою пошкодженості асфальтобетону мається на увазі формальне кінетичне поняття необоротних розривів пошкоджень зв'язків у матеріалі, що накопичуються в часі при певному характері впливу будь-якого з проаналізованих факторів. Міра пошкодженості – відносний параметр, який також характеризує ступінь (частку) пошкодження (руйнування) структури асфальтобетону при впливі руйнуючого фактору в порівнянні з максимально можливим значенням пошкодження.

У іншому випадку, автором [8, 97] розглянуто критерій А.А. Ільюшина. Нехай в деякий момент часу t , коли температура дорівнює $T(t)$, за малий

проміжок часу напруження збільшились на $d\sigma(t)$. Оцінимо обумовлене цим ослаблення зразка до деякого подальшого моменту t_1 . Найбільші напруження, які зразок міг би витримати протягом (t_1-t) при постійній температурі $T=T(t)$ становить відповідно до випробувань на тривалу міцність залежності (1.8) $\sigma^*(t_1-t, T(t))$. Тому, відносне послаблення зразка до моменту t_1 , внаслідок збільшення в момент t напруження на $d\sigma(t)$, буде рівним $d\sigma(t)/\sigma^*(t_1-t, T(t))$. Тому, сумарна міра пошкодженості по Ільюшину за час t_1 при зміні напруження і температури, буде рівною:

$$M_{t_1}^I = \int_0^{t_p} \frac{d\sigma(t)}{\sigma^*(t_1-t, T(t))} = 1. \quad (1.8)$$

У випадку коли міра пошкодженості досягає значення рівного 1, відбувається руйнування, що відповідає часу t_1-t_p . Отже, критерій Бейлі оцінює пошкодженість, виходячи з ресурсу матеріалу з позиції довговічності (відношення фактичного часу дії навантаження до можливої довговічності зразка при цьому навантаженні), а критерій Ільюшина оцінює пошкодженість, виходячи з ресурсу матеріалу по міцності (відношення фактично діючого напруження до гранично можливого при цій же тривалості дії навантаження).

В окремому випадку умови Бейлі (1.7) при повторних навантаженнях є гіпотеза Майнера, що широко застосовувана для вивчення міцності матеріалів на втому, в тому числі дорожньо-будівельних матеріалів, включаючи й асфальтобетон при впливі дії транспортних засобів [8, 36, 45, 46, 97 – 99].

На відміну від (1.7) умова Ільюшина (1.8) відображає вплив передісторії навантаження на швидкість накопичення пошкоджень: наприклад, при дії двох послідовних імпульсів напружень рівної тривалості і різної величини міра пошкодженості по Бейлі (значення інтеграла в межах $[0, t]$ в (1.7)) не залежить від черговості проходження цих імпульсів, а міра пошкодженості по А.А. Ільюшину (значення інтеграла в межах $[0, t]$ в (1.8)) буде залежати від того яке з напружень діяло раніше. Однак, як показує проведений аналіз для режиму навантаження з постійною швидкістю росту напружень при даній температурі,

результати, одержувані за цими умовами, мало відрізняються один від одного. Дійсно, вибравши для $t^*(\sigma, T)$, задавши зміну напружень в часі з постійною швидкістю ($\sigma(t)=V\sigma(t)$) і взявши інтеграли (1.7) та (1.8), отримаємо значення t_p^b і t_p^i

$$\frac{t_p^b}{t_p^i} = b_\tau^{b_\tau/(b_\tau+1)} \cdot (b_\tau + 1)^{(b_\tau-1)/(b_\tau+1)}, \quad (1.9)$$

при зміні параметрів b_τ від $b_\tau=1$ - до $b_\tau=5$ час руйнування за критерієм Бейлі t_p^b більший часу руйнування ніж за критерієм А.А. Ільюшина t_p^i максимум на 17 %.

У режимі зменшення навантаження відношення результатів змінюється в протилежну сторону.

Умова А.А. Ільюшина відображає здатність до відновлення зруйнованих зв'язків, що є його суттєвою перевагою перед умовою Бейлі стосовно асфальтобетонів, що мають таку здатність [100]. Однак, при цій умові немає параметрів, що дозволяють проявом «пам'яті» залежно від особливості даного матеріалу і від градієнта зміни напруження.

Тому, в даному випадку беручи до уваги простоту критерію Бейлі, а також той факт, що для режиму зміни напружень при охолодженні покриття умова (1.7) дає запас міцності в порівнянні з (1.8), нижчий при оцінці температурної тріщиностійкості асфальтобетонів використовується умова тривалої міцності Бейлі (1.7) у випадку експериментально доведеною адекватності її застосування.

В іншому випадку, при практичних розрахунках часто використовують емпіричну формулу Менсона, яка пов'язує амплітуду повних деформацій циклу (пластичних і пружних) ε_a з числом циклів до руйнування N_p [8, 36 – 39], де ψ - характеристика пластичності, яка залежить від поперечного звуження

матеріалу при деформуванні в місці пошкодження в момент руйнування, а σ_b , E – границя міцності і модуль пружності матеріалу.

Стосовно багатоциклічної втоми як функції довговічності дорожнього покриття, можуть бути використані залежності Салля-Пеля [8, 36 – 39, 97].

Отже, правило лінійного сумування може застосовуватись для прогнозування довговічності дорожнього покриття [8, 36 – 39, 97].

Основаючись на лінійному сумуванні пошкоджень при втомі, можна отримати відому гіпотезу сумування пошкоджень Пальмгрена-Майнера [36 – 39].

Поряд з гіпотезою простого лінійного сумування відомі також й інші закони накопичення пошкоджень [36], а саме: степенева залежність, яка передбачає, що швидкість накопичення пошкоджень від втоми залежить від числа циклів навантаження; степенева залежність Френденталю, яка враховує існування порогу чутливості по циклах N_0' нижче якого пошкодження від втоми не накопичуються.

Характеристики, що залежать від часу (функції повзучості та релаксації) Біо запропонував записати у вигляді [36], де кількість s членів ряду залежить від властивостей матеріалу; ρ_s – час релаксації, позитивна величина, а τ_s – час запізнювання (ретардації), теж позитивна величина.

Хоча тимчасових постійних (час релаксації), може бути дуже багато, функції повзучості та релаксації часто можна апроксимувати кінцевими експонентними рядами (як правило, з 10 – 20 членів), у яких тимчасові постійні вибираються без урахування термодинамічних розумінь [36]. Критерії, що гарантують позитивність експонентних коефіцієнтів, знайдених методом колокацій, наведені в роботі [36]. Усі характеристики, описані вище, представляються сумою експонент. Моделі таких матеріалів можна скласти з пружних і в'язких елементів [36]. Однак, за винятком згаданих вище діагональних компонентів, пружні модулі та коефіцієнти в'язкості можуть бути негативними, коли часи релаксації і запізнювання позитивні.

У рівняннях (1.7, 1.8 і 1.9) в якості аргументу прийнято дійсний час t . Однак, ці функції легко переписати в позначеннях для неізотермічних характеристик термореологічно простих матеріалів; дійсний час t просто замінюється приведеним часом ζ .

Функцію релаксації та повзучості можна представити також і співвідношенням Больцмана-Вольтера [36], де є можливість показати зв'язок між напруженням σ , деформацією ε і часом t для лінійно в'язко-пружних тіл:

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\varepsilon(\tau) \text{ або } \varepsilon(t) = \int_0^t P(t-\tau) d\sigma(\tau), \quad (1.10)$$

де t – момент часу, для якого визначається σ чи ε , τ – попередній момент часу ($0 < \tau < t$).

Функція релаксації $R(t)$ грає в співвідношенні (1.10) ту ж роль, що і модуль пружності E в законі Гука, але залежить від проміжку часу $(t-\tau)$, а функція повзучості $P(t)$ аналогічна пружній податливості $1/E$, але так само залежить від часу $(t-\tau)$. Для однозначного формулювання зв'язку між напруженням, деформацією і часом досить мати будь-яку з функцій $R(t)$ чи $P(t)$, тому що з (1.10) випливає [36, 39], що вони зв'язані між собою точною рівністю:

$$\int_0^t R(t-\tau) P(\tau) d(\tau) = 1. \quad (1.11)$$

Функцію релаксації чи повзучості визначають експериментально. Функція релаксації є відношення напруження, що змінюється в часі $\sigma(t)$ до деформації, ε_0 , що підтримується постійною, а функція повзучості – відношення деформації, що змінюється в часі, $\varepsilon(t)$ до постійного напруження σ_0 :

$$R(t) = \sigma(t) / \varepsilon_0, \quad (1.12)$$

$$P(t) = \varepsilon(t) / \sigma_0. \quad (1.13)$$

Для розв'язання задач про напруження у в'язко-пружних тілах, зокрема про вплив тривалості дії навантаження на асфальтобетонне покриття, у ряді випадків зручніше використовувати функцію релаксації. Однак, випробування на повзучість простіше за випробування на релаксацію, тому, що легше підтримувати постійним прикладене навантаження, а ніж прикладену деформацію. Тому, практично важливо мати простий і досить точний спосіб визначення $R(t)$ по експериментальних даних $\Pi(t)$. Застосовувати для цього точне співвідношення (1.13) незручно у зв'язку з математичними труднощами. Тому, представляє практичний інтерес наближена рівність, що математично випливає з (1.13). Це співвідношення вперше було помічено А.П. Бронським на основі порівняння експериментальних кривих повзучості та релаксації, потім Ю.Н. Работновим [101].

На основі різних підходів Д. Феррі та Р. Шепері [36, 102] встановили, що n – параметр, що виражений через кут зсуву фаз між напруженням і деформацією при випробуваннях матеріалу гармонійним навантаженням.

За експериментальними даними В.А. Золотарьова, і Г. Добсона [36 – 39, 44, 102] для асфальтобетонів тангенс кута втрат не перевищує 0,50: $\tan \varphi < 0,50$, тобто $\varphi < 0,47$ і $n < 0,94/\pi$, а найбільша можлива похибка наближеної рівності для цих матеріалів складає до 14% (коли $R(t)/\Pi(t) = \sin 0,94/0,94 = 0.86$), причому для малих ($t \rightarrow 0$) і великих ($t \rightarrow \infty$). Таким чином, для асфальтобетонів можна визначати функцію релаксації з достатньою точністю за даними випробувань на повзучість.

Були розглянуті випробування зразка асфальтобетону на одноосьовий розтяг з розвантаженням. Припускали, що практично миттєво прикладене напруження σ_0 через проміжок часу t_n знято. Тоді деформація в момент, що безпосередньо передуює розвантаженню буде дорівнювати $\varepsilon(t_n) = \sigma_0 \Pi(t_n)$.

Тобто, функцію релаксації $R(t)$ можна з достатньою точністю визначати по відомим апробованим методикам, які розроблені для визначення модуля пружності $E(t)$, і використовувати отримані експериментальні дані по значенню $E(t)$ для асфальтобетонів різних складів. З цією метою можуть бути також

використані результати випробувань зразків при сталих гармонійних коливаннях [36], якщо застосовувати наближене співвідношення [36 – 39, 44, 102], що зв'язує $E(t)$ з дійсною E' і уявною E'' складовими комплексного модуля в дослідях з різними круговими частотами ω .

Таким чином, можна одержати за експериментальними даними числові значення функції релаксації $R(t)$.

Однак, для більш точної апроксимації доводиться використовувати суму з 10 – 15 членів, тобто застосовування 21 – 31 постійної є досить складним.

Більш простим і досить точним є модифікований степеневий закон [36 – 39, 44, 102]. Як відомо, в'язко-пружні властивості асфальтобетону істотно залежать від температури. Тому, функція релаксації асфальтобетону при даному його складі повинна бути функцією двох аргументів $R(t, T)$: часу t і температури T .

Умова тривалої міцності

Вихідною інформацією про міцнісні властивості матеріалу при вивченні довговічності є результат випробування на довговічність при постійному навантаженні. Найчастіше використовують степеневий або експонентний вираз для цих залежностей [36]:

$$t^*(\sigma, T) = B_\tau \sigma^{-b}, \quad (1.14)$$

де B_τ , b – постійні, що залежать від температури.

$$t^*(\sigma, T) = A_\tau e^{-a_\tau \sigma}, \quad (1.15)$$

де A_τ , a_τ , B_τ , b_τ – постійні, різною мірою залежні від температури.

Зокрема, при $B_\tau = C \exp(F/T')$, де T' – абсолютна температура $T' = 273 + T^\circ\text{C}$, а C , F – постійні, що не залежать від T , та дають відому залежність Г.М. Бартенєва [36].

Її застосування до асфальтобетону наведено в роботах В.В. Мозгового, Б.С. Радовського, М.І. Волкова, В.А. Золотарьова, Г.Н.Кирюхіна, В.С. Титаря [8, 36, 44, 55, 97, 103 та ін.].

У роботі [97] була досліджена зміна показника функції довговічності b_t в залежності від температури, після чого залежність 1.14 отримала вигляд:

$$t^* = (\sigma, T) = C \sigma^{-b_t(T)} \cdot \exp(F/T). \quad (1.16)$$

Таким чином, зроблений аналіз впливу часу дії навантаження на термо-реологічні показники асфальтобетону свідчить, що час дії навантаження здебільшого розрізнено враховувався при визначені деформаційних характеристик, що впливають на напружено-деформований стан, та міцнісні характеристики, які в свою чергу впливають на довговічність.

У роботі [97] була досліджена оцінка тріщиностійкості асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу від дії температури. Час до розриву суцільності елементарного шару асфальтобетону при дії температурних напружень $\sigma_T(t, Z)$ встановлювали на підставі положень кінетичної теорії міцності твердих тіл при використанні умови граничного стану у вигляді:

$$[M(\sigma_T, t, z_j)]^\alpha + \sum_{i=1}^n [M_i(t, z_j)]^{\beta_i} - [M_R(t, z_j)]^\gamma \leq [M], \quad (1.17)$$

де $M(\sigma_T, t, Z_j)$ – міра пошкодженості структури асфальтобетону j -го підшару від дії термоусадочних напружень;

$M_i(t, Z_i)$ – те ж, від дії інших факторів (транспортного, водо-морозного і т.п.);

$M_R(t, Z_j)$ – відновлена частина до моменту часу t раніше накопиченої міри пошкодженості структури;

$[M]$ – гранично допустиме значення міри пошкодженості;

α, β, γ – експериментальні параметри.

Міра пошкодженості асфальтобетону за характерний проміжок часу при

дії термоусадочних напружень отримала вираз у вигляді:

$$M_k(\sigma_T, t, z_j) = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \Phi((t-\tau); h_i; z_j) \rho(\sigma_T(\tau); T(\tau); z_j) d\psi(\tau). \quad (1.18)$$

На основі отриманих досліджень [76] (1.17) та (1.18), умова граничного стану тріщиностійкості асфальтобетону в j -тому підшарі покриття отримала наступний вигляд:

$$[M_N(\sigma_T, t_{N-1} + \Delta t_p, z_j)] + \sum_{k=1}^{N-1} [M_k(\sigma_T; t, z_j)]^\alpha \leq C_{TP}(t, z_j), \quad (1.19)$$

$$M_N(\sigma_T, t_{N-1} + \Delta t_p, z_j) = \int_{t_{N-1}}^{t_{N-1} + \Delta t_p} \Phi((t_p - \tau); n_i; z_j) \rho(\sigma_T(\tau); z_j) d\psi(\tau); \quad (1.20)$$

$$C_{TP}(t, z_j) = [M] - \sum_{i=1}^n [M_i(t, z_j)]^{\beta_i} + [M_R(t, z_j)]^\gamma; \quad , \quad (1.21)$$

де M_N – значення міри пошкодженості на останньому N -му проміжку часу до повного розриву j -го підшару;

$C(t, Z_j)$ – граничне значення на момент часу t міри пошкодженості асфальтобетону з точки зору небезпеки утворення температурних тріщин;

M_n – номінальне значення міри пошкодженості ($M_n=1$);

K_n – коефіцієнт проектної надійності;

K_y – коефіцієнт умов роботи.

У роботі [105] запропоновано оцінювати температурну тріщиностійкість армованих асфальтобетонних шарів на відомій умові граничного стану використовуючи критерій Бейлі:

$$M_T(\sigma_T(t), T(t)) = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^*(\sigma, T)} \leq C_T, \quad (1.22)$$

де $M_T(\sigma_T(t), T(t))$ – міра пошкодженості асфальтобетонного шару;

t_p – час до руйнування (розтріскування) асфальтобетонного шару;

$t^*(\sigma, T)$ – функція довговічності асфальтобетону;

$\sigma_T(t)$ – напруження в асфальтобетоні;

$T(t)$ – температура асфальтобетону;

C_T – граничне значення показника температурної тріщиностійкості асфальтобетону.

Оскільки характеристики міцності асфальтобетону залежать як від температури так і від часу дії навантаження, проявляючи кінетичний характер руйнувань, визначали показник сумарної міри тріщиноутворення M_T за час t зміни напруження і температури, що відповідають певному рівню температурних напружень з урахуванням термов'язкопружних властивостей для відповідного варіанту розрахункових схем:

$$M_{\delta} = \int_{t_{p,i-1}}^{t_{p,i}} \frac{\left(\int_0^t \left[H_i + (B_i - H_i) \left(1 + \frac{e^{P_{1,i}(T_{0,i} - T_{S,i} + K_i \cdot t)}}{P_{1,i} K_i r_i} (1 - e^{-P_{1,i} K_i (t - \tau)}) \right)^{-m_i} \right] \cdot G(\tau) d(\tau) \right)^{b_{\tau}(T)}}{B_{\tau}(T)} dt. \quad (1.23)$$

Тут:

- для першого варіанту розрахункової схеми

$$G(\tau) = f(\alpha, k, R(t), h_i, h_{\sigma}, n, m, h_k);$$

- для другого варіанту розрахункової схеми

$$G(\tau) = f(\alpha, k, R(t), h_i, h_{\sigma}, n, m, h_k, F);$$

- для третього варіанту розрахункової схеми

$$G(\tau) = f(\alpha, k, R(t), h_i, h_{\sigma}, n, m, h_k, F, F_n),$$

де b_{τ} , $B_{\tau}(T)$ – параметри функції довговічності $t^*(\sigma, T)$ асфальтобетону.

На основі отриманих виразів, є можливість з урахуванням заданої довговічності t_p , термореологічних властивостей матеріалів і кліматичних умов, здійснювати оцінку температурної тріщиностійкості армованих асфальтобетонних шарів.

У роботі [106] запропоновано оцінювати температурні напруження в асфальтобетонному покритті штучних споруд автомобільних доріг в будь який

час t з урахуванням термов'язкопружних властивостей асфальтобетону від її температурного фактору, але не дозволяють враховувати вплив дії транспорту.

Для оцінки граничного стану асфальтобетонного покриття по температурній тріщиностійкості, було отримано та обґрунтовано умову граничного стану:

$$M_T \leq \frac{\gamma_d}{\gamma_n} k_{ожс} \cdot C_{mp}, \quad (1.24)$$

де M_T – міра небезпеки температурного розтріскування покриття;

C_{mp} – граничне значення показника температурної тріщиностійкості асфальтобетону;

$k_{ожс}$ – коефіцієнт, що відображає вплив агресивної дії антиожедних реагентів встановлюється експериментально;

γ_d – коефіцієнт умови роботи;

γ_n – коефіцієнт надійності (залежить від класу відповідальності штучних споруд).

Для загального випадку роботи асфальтобетонного покриття з урахуванням встановленої закономірності зміни напружень $\sigma_T(t)$ згідно [106] для визначення показника M_T автором отримано залежність:

$$M_T = \int_0^{t_p} \frac{dt}{B_\tau \cdot \left[\int_0^t F(\tau) \cdot n_1 d\tau - \int_0^t F(\tau) \cdot n_2 \cdot (2A\tau + B) d\tau - \int_0^t F(\tau) \cdot n_3 \cdot (2A_1\tau + B_1) d\tau \right]^{-b_\tau}}, \quad (1.25)$$

де B_τ, b_τ – сталі, що у різній степені залежні від температури.

Для окремого випадку [106] залежність (1.25) набирає вигляд:

$$M_T = \int_0^{t_p} \frac{dt}{B_\tau \cdot \left[(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \lambda \cdot k \cdot \left[E_\infty \cdot t - \frac{1}{b} (E_0 - E_\infty) (e^{-bt} - 1) \right] \right]^{-b_\tau}}. \quad (1.26)$$

Отримані залежності дозволяють виконувати розрахунки асфальтобетонного покриття штучних споруд на температурну тріщиностійкість з урахуванням термореологічних властивостей, параметрів температурного режиму та конструктивних особливостей.

Результати теоретичних досліджень [106] дозволили запропонувати методику розрахунку асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг на температурну тріщиностійкість.

У роботі [107] встановлено, що характеристики міцності асфальтобетону залежать від дії коліс транспортних засобів, проявляючи кінетичний характер руйнувань, то граничне прикладання навантажень на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу міст, визначали з використанням феноменологічного підходу, у вигляді сумарної міри тріщиноутворення M_T за час t зміни напруження, що відповідають певному рівню напружень для розрахункової схеми [107]. У цьому випадку граничний стан має вигляд:

$$[M(\sigma(T, t_n), t, x_i)] - [M_{\text{від}}(t, x_i)] \leq [M], \quad (1.27)$$

де $[M(\sigma(T, t_n), t, x_i)]$ – міра пошкодження структури асфальтового бетону i -го шару від дії транспортного навантаження;

$[M_{\text{від}}(t, x_i)]$ – відновлена частина до моменту часу t раніше нагромадженої міри пошкодження структури асфальтового бетону i -го шару;

$[M]$ – гранично допустиме значення міри пошкодження.

У роботі [108] при дослідженні довговічності асфальтобетонних шарів від дії коліс транспортних засобів, використовували умови довговічності С.М. Журкова та Г.М. Бартенєва, і умову граничного стану Бейлі. В цьому випадку граничний стан можна записати у вигляді:

$$M[\sigma(t, T, q), \mu(t, T, q), T(t)] \leq [M], \quad (1.28)$$

де $M(\sigma(t, T, q), \mu(t, T, q), T(t))$ – міра пошкодження структури асфальтового бетону i -го шару покриття від дії транспортного навантаження;

$[M]$ – гранично допустиме значення міри пошкодження;

$\sigma(t, T, q)$ – напруження, які залежать від часу дії навантаження, температури і кількості полімеру;

$\mu(t, T, q)$ – коефіцієнт Пуассона, який залежать від часу дії навантаження, температури і кількості полімеру;

$T(t)$ – температура, яка залежить від часу.

Для визначення міри пошкодження структури асфальтового бетону i -го шару від дії транспортного навантаження використаємо критерій Бейлі [36, 97, 100, 111 – 112].

У роботі [109] запропоновано для умови граничного стану асфальтобетонних шарів зносу використати критерій Бейлі [36, 97, 100, 111 – 112] у вигляді міри їх пошкодженості M . У цьому випадку граничний стан можна записати у наступному вигляді:

$$M(t) = M_{Tp} + M_{Tem} \leq [M] \cdot K_{yp}, \quad (1.29)$$

де $M_{Tp} = \sum_{j=1}^m \sum_{\varphi=1}^{k_{\varphi}} N_{\varphi} \int_0^{t_{n\varphi}} \frac{dt}{t^* (\sigma^{ab}_{r, (Tp)}(t))}$ – міра пошкодженості асфальтобетонного шару зносу від дії транспорту;

$M_{Tem} = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^* (\sigma^{ab}_{r, (Tem)}(t))}$ – міра пошкодженості асфальтобетонного шару зносу від зміни температури;

K_{yp} – коефіцієнт умови роботи, що відображає водо-морозний вплив та вплив агресивної дії антиожеледних реагентів, а також технологічних неоднорідностей;

t_p – час до руйнування (розтріскування) асфальтобетонного шару зносу;

$t_{n\varphi}$ – час дії навантаження згідно таблиці 2.1 [109];

N_{φ} – інтенсивність дії навантаження даного виду режиму згідно таблиці 2.1 [109];

j – номер температурного періоду;

$t^*(\sigma(t), T(t))$ – функція довговічності асфальтобетону;

$\sigma_{r, (Tp)}^{ab}(t)$ – напруження в асфальтобетоні від транспорту;

$\sigma_{r, (Tem)}^{ab}(t)$ – напруження в асфальтобетоні від температури;

$T(t)$ – температура асфальтобетону;

$[M]$ – граничне значення показника тріщиностійкості асфальтобетонного шару зносу.

У роботі [109] запропоновано розрахункову схему по визначенню розрахункової роботи асфальтобетонного шару зносу покриття при спільній дії зміни температури та дії коліс транспортних засобів на незруйновану монолітну основу, що суттєво відрізняється від умов роботи асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

У роботі [110] для граничного стану асфальтобетонного покриття на залізобетонних транспортних спорудах з використанням полімерного латексу, застосований критерій Бейлі [8, 36, 97, 105 – 106, 108 – 109, 113 – 114 та ін.] у вигляді їх сумарної міри пошкодженості M за час t зміни напруження і температури T , для залишкового ресурсу. У цьому випадку граничний стан можна записати у вигляді:

$$Z_p(t, T) = C_{TP} \cdot K_y - K_{vid} \cdot (M_{Tem}(t, T) + M_{Tp}(t, T)), \quad (1.30)$$

$$\text{де } M_{Tem}(t, T) = \int_0^{t_p} \frac{\sigma_{r, (Tem)}^{ab}(t)^{b(t, T)}}{B_t(t, T)} dt - \text{міра пошкодженості асфальтобетонного}$$

покриття на залізобетонних транспортних спорудах від зміни температури;

$$M_{Tp}(t, T) = \sum N_p \cdot \int_0^{t_H} \frac{\sigma_{TP}(t)^{b(t, T)}}{B_t(t, T)} dt - \text{міра пошкодженості асфальтобетонного}$$

покриття на залізобетонних транспортних спорудах від дії транспорту;

K_y – коефіцієнт, що відображає вплив агресивної дії антиожеледних реагентів, встановлюється експериментально [97];

K_{sid} – коефіцієнт відновлення асфальтобетонного покриття за даними робіт [97, 105];

B, b – параметри функції довговічності;

$[C_{TP}]$ – гранично допустиме значення [97] міри пошкодженості асфальтобетонного покриття з використанням полімерного латексу на залізобетонних транспортних спорудах, приймається рівним 1;

$\sum N_p$ – сумарна кількість проїздів розрахункового навантаження за строк служби асфальтобетонного покриття на залізобетонних транспортних спорудах (визначається за формулою [115]);

σ_{TP} – напруження розтягу при згині від дії розрахункового транспортного навантаження в асфальтобетонному покритті за номограмою рис. 2.1. та залежністю 2.2 [110];

t_p – час до руйнування;

t_H – час дії навантаження.

У роботі [110] запропоновані розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття з використанням полімерних латексів на залізобетонних транспортних спорудах від спільної дії зміни температури та дії коліс транспортних засобів на незруйнованій монолітній основі з еластичним прошарком, проте такі розрахункові схеми суттєво відрізняються від умов роботи асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті, оскільки в них не врахована динаміка коливань металевої транспортної споруди.

Аналіз методів розрахунку показав, що в залежностях В.В. Мозгового вигляд (1.17 – 1.21), І.С. Ладиженського вигляд (1.22) та (1.23), оцінювали температурну тріщиностійкість від різних впливових факторів в конструкціях дорожнього одягу нежорсткого типу. О.М. Іщенком (1.24 – 1.26) оцінено температурну тріщиностійкість від різних впливових факторів на залізобетонних штучних спорудах. У залежностях В.В. Смолянця (1.27)

оцінювали тріщиностійкість від дії коліс транспортних засобів асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в умовах міст. А.М. Онищенко (1.28) оцінювалась тріщиностійкість від дії коліс транспортних засобів в асфальтобетонних шарах за рахунок використання полімерних латексів. Залежність О.О. Жукова (1.29) дозволяє оцінювати тріщиностійкість асфальтобетонних шарів зносу нежорсткого дорожнього одягу від спільної дії температури та транспорту в умовах міста, а в роботі В.Ф. Невінгловського (1.30) оцінювалось підвищення залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних транспортних спорудах за рахунок використання полімерного латексу, з урахуванням спільного впливу температури та транспортних засобів, проте такі підходи суттєво відрізняється від умов роботи асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

1.5 Існуючі способи підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах

Настил металевих транспортних споруд є для дорожнього одягу свого роду специфічною основою, яка різко відрізняється від основ, на які асфальтобетонне покриття укладається на автомобільних дорогах. Ця відмінність виявляється насамперед у тому, що дорожній одяг піддається наведеному динамічному навантаженню не тільки від руху транспортних засобів, а й від складних коливань самої транспортної споруди. Особливо це яскраво проявляється на висячих і вантових металевих великопролітних транспортних спорудах.

На вантовій споруді через р. Рейн у м. Дюссельдорфі (Німеччина) були проведені дослідження впливу величини амплітуди коливань транспортної споруди на появу дефектів дорожнього покриття, укладеного на ортотропній плиті [3].

Прогин прогону, що має консоль становить від 5 см при 30 % – вому до 172 см при повному транспортному навантаженні. Рух вантажних автомобілів по мосту здійснювався по шести смугах з інтенсивністю близько 1000 авт./добу (1 клас навантаження). Довжина прольоту становила 319 м, а ширина проїзної частини – 21,5 м. У якості дорожнього покриття застосовувався литий асфальтобетон спеціально спроектованого складу. Верхній захисний шар улаштований з щебенево-мастикового асфальтобетону (ЩМА) [3, 9, 17, 20 – 26].

Були виміряні коливання мосту в декількох поперечних перетинах прольоту і виявлено, що вони змінюються в діапазоні частот 1 – 25 Гц по довжині і поперечнику прольоту, маючи мінімальну величину у пілона, і збільшуючись між кріпленнями вантів. При цьому, амплітуди коливань на річковому прольоті майже в 20 разів вище, ніж поблизу пілону. Кількість спостережуваних поздовжніх тріщин на середніх смугах руху збільшується відповідно підвищенню амплітуди коливань [3, 9, 17, 20 – 26].

Японські дослідники, проаналізувавши можливі причини виникнення поздовжніх тріщин в асфальтобетонному покритті на металевих транспортних спорудах, також дійшли висновку, що причиною їх появи є динамічний фактор.

Лабораторні дослідження, які були проведені на моделі у вигляді зразка асфальтобетону покладеного на металеву пластину, виявили чітку залежність між числом повторних стискаючих навантажень і кількістю утворених тріщин у зразку [3, 9, 17, 20 – 26].

Як видно з [3, 9, 17, 20 – 26], при випробуванні на довговічність асфальтобетонного зразка на металевій підкладці при температурі 55 °C і частоті програми навантаження 8 Гц, площа його поверхні з поздовжніми тріщинами збільшується прямо-пропорційно числу циклів програми навантаження.

Щоб підтвердити результати лабораторних випробувань, автори роботи [3, 9, 17] провели серію досліджень поведінки асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, вимірюючи прогини, деформацію і напругу

в матеріалі покриття. При цьому, для приготування асфальтобетонної суміші використовувалися бітуми з різною в'язкістю, що мають різні в'язкопружні характеристики [3, 9, 17].

Дослідження проводились в три етапи:

1. Обстеження 50 металевих транспортних споруд різного типу з реєстрацією кількості та місць утворення тріщин.
2. Випробування зразків асфальтобетону на повторне навантаження в лабораторних умовах.
3. Розрахунки на в'язко-пластичних реологічних моделях з визначенням загальної картини напруженого стану покриття на них.

У результаті обстежень встановлено, що поздовжні тріщини на проїзній частині металевих споруд є переважним видом дефектів.

Дослідження на математичних моделях гнучкої еластичної поведінки асфальтобетонного покриття в режимі повторних стискаючих навантажень дозволили встановити, що в покритті виникають значні деформації розтягування як у зоні між ребрами жорсткості металевої споруди, так і в зоні самих ребер, що передбачає, на думку дослідників, появу поздовжніх тріщин у цих зонах.

Авторами роботи [3, 9, 17, 20 – 26] зазначено, що поздовжні тріщини виникають найчастіше по колії руху транспортних засобів з кроком 15 см, як між ребрами жорсткості, так і в зоні самих ребер металевої ортотропної плити, причому частіше на спорудах з ребрами замкнутого профілю. При цьому між ребрами жорсткості фіксувалися значні розтягуючі напруження, незважаючи на те, що зусилля, які діють на покриття, були переважно стискаючими. Поздовжні тріщини в процесі експерименту утворювались на поверхні і розвивались вглиб покриття, причому найбільш інтенсивне їх зростання відзначалось при температурі покриття 55 °С, яка і була обрана для лабораторних випробувань [3, 9, 17, 20 – 26, 29, 47].

При цьому, на покритті з асфальтобетону у виготовленому на більш в'язкому і еластичному бітумі поздовжніх тріщин з'являлось більше, ніж на

асфальтобетонному покритті з малов'язким бітумом з оптимальним значенням еластичності. Таким чином, щоб знизити кількість поздовжніх тріщин при приготуванні асфальтобетонної суміші, призначеної для покриттів на металевих транспортних спорудах з ортотропною плитою, слід вибирати бітум з певним співвідношенням значень в'язкості та еластичності, а також пружності і пластичності [3, 9, 17, 20 – 26, 29, 47, 48].

Застосування ж бітумів малої в'язкості з невисокою еластичністю гарантує появу пластичних деформацій покриття [3, 9, 17].

У висновках даної роботи [3, 9, 17, 20 – 26, 29, 47, 48] відзначено необхідність обліку в'язко-пластичних властивостей асфальтобетону при прогнозуванні зростання поздовжніх тріщин в покриттях на металевих спорудах.

Результат експерименту дозволив авторам цієї роботи зробити наступні висновки:

- відносна деформація (ϵ) і напруження (σ) в асфальтобетонному покритті на високов'язкому бітумі після проїзду колеса автомобіля практично відновлюються, повертаючись в нульову точку, а на бітумі з меншою в'язкістю відбувається накопичення в покритті залишкових деформацій і напружень;

- при збільшенні швидкості руху автомобіля значно зменшується залишкова деформація, але при цьому збільшуються напруження в асфальтобетонному покритті на основі малов'язкого бітуму. Для високов'язкого бітуму зміни, що відбуваються під дією автомобіля, що рухається з більш високою швидкістю, дуже малі, до того ж вони практично повністю повертаються до нульової позначки після зняття навантаження.

Обстеження асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті Південного та Московського мостових переходів (м. Київ) показали, що як і в інших країнах, найбільш поширеними дефектами в покритті є часті поздовжні та поперечні тріщини, колія (Додаток А).

На асфальтобетонних покриттях металевих транспортних споруд відзначається і значна кількість пластичних деформацій, особливо на

покриттях, які зазнали ремонту, який проводиться, як правило, більш пластичними типами асфальтобетону, що на думку дорожніх фахівців, повинно стримувати ріст і розвиток тріщиноутворення на таких покриттях. Проте спостереження показують, що застосування таких асфальтобетонів не досягає своєї мети, більше того, тут з'являються численні зсувні пластичні деформації, що добре узгоджується з висновками японських дослідників. Крім того, часто вода, яка проникає через тріщини покриття, погіршує і без того не дуже хорошу адгезію асфальтобетону з гідроізоляцією та ортотропною плитою, тобто система «покриття – ортотропна плита» не працює як єдина система, що посилює розвиток деформацій, і зрештою, проявляється на поверхні дорожнього покриття металевої транспортної споруди.

Не додає оптимізму в отриманні якісного покриття на металевих спорудах і неякісне виконання його деформаційних швів. У результаті невеликого прорахунку в товщині мастики для їх заливки (досить перевищення над поверхнею покриття металевої споруди в 0,6 – 1,0 см) автомобілі, що йдуть на великій швидкості (60 – 80 км/год), особливо великовантажні, якби «злітають» на деформаційному шві і «приземляються» на поверхню покриття. Це також впливає на появу різних дефектів покриття, особливо пластичних напливів, колій.

Причинами їх появи, можливо, є великі згинальні напруження, які на кілька порядків перевищують ті, які зазвичай виникають в дорожньому покритті. Крім того, впливають і такі фактори, як велика різниця в коефіцієнтах лінійного розширення асфальтобетону дорожнього одягу та металу транспортної споруди, а також інший характер впливу вітру і температур району. Так, на металевих транспортних спорудах температура повітря та вітрові навантаження впливають як на верхній шар покриття, так і на нижню його частину за рахунок нагрівання або охолодження ортотропної плити, в той час як в дорожніх конструкціях основний вплив цих факторів йде на верхню частину асфальтобетонного покриття, поступово згасаючи по товщині дорожнього одягу. Виникнення поздовжніх тріщин може бути пояснено

особливістю роботи нежорсткого дорожнього одягу, що володіє властивостями в'язкопружного напівпростору. Так, в роботах [3, 11, 14, 16, 17] розглянуто теоретичні аспекти напружено-деформованого стану дорожнього одягу залежно від впливу різних факторів. При цьому, дорожній одяг розглядається як шаруватий в'язкопружний напівпростір. У цьому випадку вплив складності в'язкопружної конструкції дорожнього одягу призводить до складного характеру залежностей напружень і деформацій від швидкості руху транспортних засобів і характеристик шарів. При русі осі симетричного навантаження по поверхні цього напівпростору (тобто дорожнього одягу) величина максимальної згинаючої відносної деформації в поперечному напрямку буде більша, ніж деформація напрямку руху (поздовжня). На підставі цього авторами робіт [3, 11, 14, 16, 17] висловлюється припущення, що це може бути причиною, по якій в асфальтобетонному покритті під дією повторних проїздів автомобілів утворюються поздовжні тріщини по смузі накату, обумовлені втомними властивостями матеріалу.

Крім того, вплив транспортного потоку на металевих спорудах інший, ніж на дорозі, так як необхідно враховувати також роботу його елементів, особливо на стиках та деформаційних швах. Неоднакова швидкість руху автомобілів на різних смугах руху також створює труднощі для обліку напруженого стану дорожнього одягу.

При проїзді автомобілів по ортотропній плиті транспортної споруди у верхній частині виникають розтягуючі напруження, такі ж, як і в шарі зносу дорожнього одягу [109]. Повторювання дії рухомих транспортних засобів викликають втомні напруження в шарі асфальтобетону і визначаються втомною довговічністю матеріалу.

Під втомою, розуміють процес поступового накопичення залишкових деформацій в матеріалі під дією змінних напружень, який призводить до зміни властивостей матеріалу, утворення та розвитку дефектів і пошкоджень дорожнього одягу аж до його руйнування.

Втомною довговічністю називають здатність матеріалу чинити опір багаторазово прикладеним механічним діями. Вона вимірюється зазвичай кількістю навантажень (циклів), які витримує матеріал до руйнування. Ця властивість дорожнього покриття характеризує тривалість його роботи в умовах експлуатації (строк служби).

На відміну від асфальтобетону дорожнього одягу автомобільних доріг, де втомні напруження виникають в нижній частині шару і тріщина «проростає» знизу вгору, в шарі, укладеному на ортотропній плиті, розтягуючі напруження виникають у верхній його частині, тому тріщини «проростають» зверху вниз [3, 9].

У Франції проводилось вивчення цієї нетипової поведінки дорожнього одягу на металевих транспортних спорудах, для чого була розроблена методика випробування на втому, що дозволяє оцінити стійкість основи на ребрі жорсткості ортотропної плити [3, 9, 17, 20 – 26]. За цією методикою було проведено випробування на вигин циклічним навантаженням зразків асфальтобетону на металевому листі [3, 9]. При випробуванні фіксували появу тріщин у центральній зоні, їх поширення до країв зразка і зростання тріщини в глибину, а також відзначали наявність відшаровування гідроізоляції від металу.

Зразок вважався таким, що витримав випробування, а суміш придатною для застосування в дорожньому одязі на металевій споруді, якщо не відбувалося відшарування гідроізоляції від металу, а тріщина в асфальтобетонному шарі «проростала» на глибину не більше 35 мм.

Таким чином, критерієм для вибору оптимального складу асфальтобетону для дорожнього одягу на ортотропній плиті металевої споруди був обраний параметр, названий втомною довговічністю всієї системи полотна проїзду. У цьому випадку експлуатаційні якості дорожнього одягу повинні відповідати необхідним вимогам.

Ще одна особливість роботи дорожнього покриття на металевих транспортних спорудах відзначена в роботі угорських дорожників [3]: через сильний нагрів (або охолодження) металевих ферм споруди, різниці в

теплопровідності матеріалів, і як наслідок, великого перепаду і швидкості зміни температур в шарах системи, з'являються додаткові температурні напруження системи асфальтобетонного покриття, що провокують поряд з напруженнями від навантаження (рухомих транспортних засобів) виникнення напружень зсуву на кордоні двох шарів – гідроізоляції (герметика) і покриття. Це призводить до того, що необхідний облік не тільки адгезії між покриттям і герметиком, але і динамічних навантажень на кордоні шарів покриття і герметика.

На відміну від автомобільних доріг, де атмосферна волога практично не надає руйнівної дії на влаштований асфальтобетон, що відповідає всім нормативним вимогам, на покриттях металевих транспортних споруд можуть з'явитися специфічні дефекти. Причому їх виникнення можливе як на металевих, так і бетонних спорудах [3].

Причина їх у тому, що при недостатньому водовідведенні, вода може проникати між шарами дорожнього одягу або між дорожнім одягом і шаром гідроізоляції в місцях локального ослаблення зчеплення шарів, порушуючи цілісність єдиної системи «покриття – металевий настил споруди». Осмотичні явища в покритті, особливо при проході рухомих транспортних засобів, збільшують розшарування системи і накопичення в утворених порожнинах води, яка тривалий час залишається всередині покриття між шарами. При нагріванні покриття в теплу пору року утворюється водяна пара, яка піднімає шари дорожнього одягу [3].

У результаті, асфальтобетон спучується і на поверхні верхнього шару покриття можуть утворюватися тріщини, що розвиваються зверху вниз. Схема механізму такого розвитку тріщини [3, 9].

Розмір такого спучування залежить від денних температур влітку і проявляється в місцях локальної втрати зчеплення між шарами системи, в основному, в теплу пору року.

Підвищення експлуатаційних властивостей полотна проїзду з урахуванням специфіки роботи покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд, шляхом збільшення строку служби асфальтобетонних

покриттів, вимагає застосування дорожньої конструкції і матеріалу з властивостями, відмінними від необхідних для умов дорожнього будівництва.

Все це показує необхідність проектування асфальтобетонних покриттів на них за іншими критеріями, ніж на дорогах. А на вибір конструкції дорожнього одягу накладається додаткова вимога – не перевищувати певної маси, щоб не збільшувати постійне навантаження на металеву споруду.

Вивчення досвіду застосування асфальтобетонних покриттів на металевих транспортних спорудах за кордоном показує, що конструкції дорожніх одягів повинні різко відрізнятися від аналогічних на автомобільних дорогах. Тому, необхідна розробка оптимальних типів асфальтобетонів та програми розрахунку асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті.

У даний час, при розробці проекту споруд конструкцій, розрахунок дорожньої конструкції з урахуванням категорії дороги, інтенсивності руху та застосовуваних матеріалів не проводиться. Категорія дороги враховується тільки при призначенні габаритів споруди, числа смуг проїжджої частини, ширини смуг руху і смуг безпеки.

Слід зазначити, що під час розрахунку шарів покриття на металевих транспортних спорудах не пристосована прийнята методика розрахунку дорожньої конструкції при будівництві автомобільних доріг.

При підборі асфальтобетону для покриттів на металевих транспортних спорудах слід враховувати зростання ролі пружно-пластичних властивостей асфальтобетону, в той же час до верхнього шару застосовують підвищені вимоги по водонепроникності, а часто і шорсткості. Нарощувати товщину покриття за рахунок додаткових шарів неможна через можливість перевищення навантаження на споруду, тому шар асфальтобетонного покриття на них повинен поєднувати в собі якості верхнього шару і шару зносу при мінімально можливій товщині, тобто це має бути спеціальний асфальтобетон для покриттів на металевих транспортних спорудах [3, 9, 17, 20 – 26, 29, 47, 48 та ін.].

Експлуатаційні вимоги до конструкцій таких споруд, в тому числі і до дорожніх одягів, є основними і можуть бути сформульовані наступним чином:

- споруда повинна забезпечувати безпеку та зручність руху по ній без зниження швидкості руху протягом заданого строку експлуатації;
- вона повинна мати жорсткість, щоб деформації і переміщення при русі транспортних засобів не були надмірними і не відбивалися на безпеці руху;
- конструкція споруди повинна мати необхідну ширину проїзної частини і тротуарів, у залежності від її призначення, з урахуванням перспективи зростання інтенсивності руху;
- споруда повинна мати сприятливий для руху транспортних засобів поздовжній та поперечний профіль;
- вона має бути довговічною та з міцних матеріалів;
- полотно проїзду повинно бути виконано із зносостійкого матеріалу і забезпечене надійним відведенням води;
- конструкція металевої транспортної споруди повинна забезпечувати можливість огляду, ремонту та реконструкції.

1.6 Висновки по розділу, мета та задачі дослідження

Узагальнення стану питання щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах за рахунок використання полімерів, дозволяє сформулювати наступні висновки:

1. Асфальтобетонне покриття на металевих транспортних спорудах перебуває у складних умовах експлуатації, так як на нього у процесі роботи діють багато негативних факторів, а саме: різниця коефіцієнтів лінійного температурного розширення асфальтобетону і ортотропної плити, виникнення деформацій горизонтального листа металевої плити, суттєва різниця модулів пружностей асфальтобетону та ортотропної плити металевої транспортної споруди, перенапруження асфальтобетонного покриття, коливання температури повітря, зміна температури асфальтобетонного покриття та металевої плити, дія коліс транспортних засобів, динаміка коливання ортотропної плити, агресивний водно-температурний режим. Перелічені фактори призводять до руйнування

покриття та гідроізоляції, що в свою чергу негативно впливає на міцність та довговічність несучих елементів металевих транспортних споруд.

2. Аналіз існуючих методів та моделей оцінки довговічності з позиції тріщиностійкості асфальтобетонного покриття від спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів дозволяє зробити висновок про те, що проведені раніше дослідження носять розрізнений характер, так як при оцінці довговічності асфальтобетонного покриття з позиції тріщиностійкості, враховували окремо лише або дію пневматичних коліс транспортних або дію зміни температури. Недостатньо в розрахункових схемах враховуються особливості роботи асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

3. Результати огляду щодо заходів з підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах з урахуванням досвіду застосування бітуму модифікованого полімерами, свідчать про те, що питання із застосування бітумів модифікованих полімерами на даний час є актуальним та потребує додаткових досліджень. Не в повній мірі досліджено вплив часу модифікації бітуму полімерами на властивості асфальтобетону, міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві, залишкові деформації у вигляді колії, циклічну втому.

4. Аналізуючи існуючі підходи врахування впливу температурних факторів з впливом часу дії пневматичних коліс транспортних засобів на довговічність асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, можна зробити висновок, що на даний час постала необхідність в удосконаленні методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури (річних та добових температур) та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Ґрунтуючись на викладеному, **метою дисертаційної роботи** є удосконалення методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг, з урахуванням

спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;
- розробити розрахункові схеми та встановити аналітичну залежність для удосконалення методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах за тріщиностійкістю, з урахуванням термореологічної поведінки асфальтобетону і спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;
- експериментально дослідити: розрахункові термореологічні характеристики литого та щебенево-мастикового асфальтобетонів з використанням полімерів; межу міцності на розтяг при згині, з урахуванням різного часу дії навантаження; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; залишкові деформації у вигляді колії; фактичні деформації горизонтального листа ортотропної плити під дією експлуатаційного навантаження, з метою моделювання максимальних розтягуючих напружень в асфальтобетонному покритті; закономірності дії впливових факторів на довговічність досліджуваних асфальтобетонів;
- розробити практичні рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД НА ДОВГОВІЧНІСТЬ

2.1 Концептуальні положення з розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах

Загальні положення із підвищення довговічності з позиції тріщиностійкості асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд за рахунок використання полімерів полягають у наступному: на протязі заданого строку служби асфальтобетонне покриття повинне бути стійким до водо-морозних впливів; повинне бути забезпечене належне зчеплення між покриттям і основою; повинне бути стійким до тріщиноутворення від спільної дії пневматичних коліс транспортних засобів та дії річних і добових температур. При цьому, стійкість до водо-морозних впливів передбачено забезпечити належним вибором виду матеріалу для водонепроникного асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд, встановлення відповідних вимог до нього та технології його влаштування [1 – 4].

Стійкість асфальтобетонного покриття до залишкових деформацій у вигляді колії та міцність його зчеплення з ортотропною плитою при зсуві, коефіцієнт температурної тріщиностійкості, параметри розрахункового модуля пружності визначаються експериментальним шляхом, що наведено в розділі 3.

Оцінка довговічності з позиції тріщиностійкості асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд базується на отриманні аналітичних залежностей, що дозволяють прогнозувати напруження від спільної дії річних та добових температур, а також дії пневматичних коліс транспортних засобів. Для прогнозування утворення тріщин в покритті при спільній дії напружень від дії коліс транспортних засобів та температури,

оцінка довговічності повинна базуватися на умові граничного стану. Базуючись на теоретичних дослідженнях, розроблено інженерний метод розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, що наведено в розділі 4.

Тому, з урахуванням вище наведеного, дорожній одяг, що складається з двох шарів водонепроникного асфальтобетону, гідроізоляції та ортотропної плити металевої транспортної споруди, повинен бути протягом 15-ти років у відповідності з [1] стійким до водо-морозних впливів, повинно бути забезпечене належне зчеплення між шарами литого асфальтобетону, гідроізоляцією та ортотропною основою, що визначається експериментально (розділ 3).

Слід відмітити, що нові металеві транспортні споруди відповідно до [1 – 4] проектується з товщиною ортотропної плити 14 мм, а у нашому випадку товщина металевого настилу 12 мм, що призводить до збільшення динамічних коливань на консольній частині металевої транспортної споруди.

Базуючись на літературному аналізі (розділ 1), можна сказати, що умови роботи асфальтобетонного покриття на вантовій частині ортотропної плити металевих транспортних споруд суттєво відрізняються від експлуатації асфальтобетонного покриття на автомобільних дорогах та залізобетонних транспортних спорудах.

У свою чергу, відмінністю умов роботи асфальтобетонного покриття з ортотропною плитою на металевих транспортних спорудах є те, що на вантові прольотні будови суттєво впливають знакоперемінні коливання.

Тому, для дисертаційних досліджень прийнято ортотропну плиту на вантовій частині металевої транспортної споруди на прикладі Південного мостового переходу в м Києві. Зазначена металева транспортна споруда є унікальною, і не має аналогу в світі, оскільки на покриття одночасно діє рух транспортних засобів та поїздів метро (рис. 2.1).

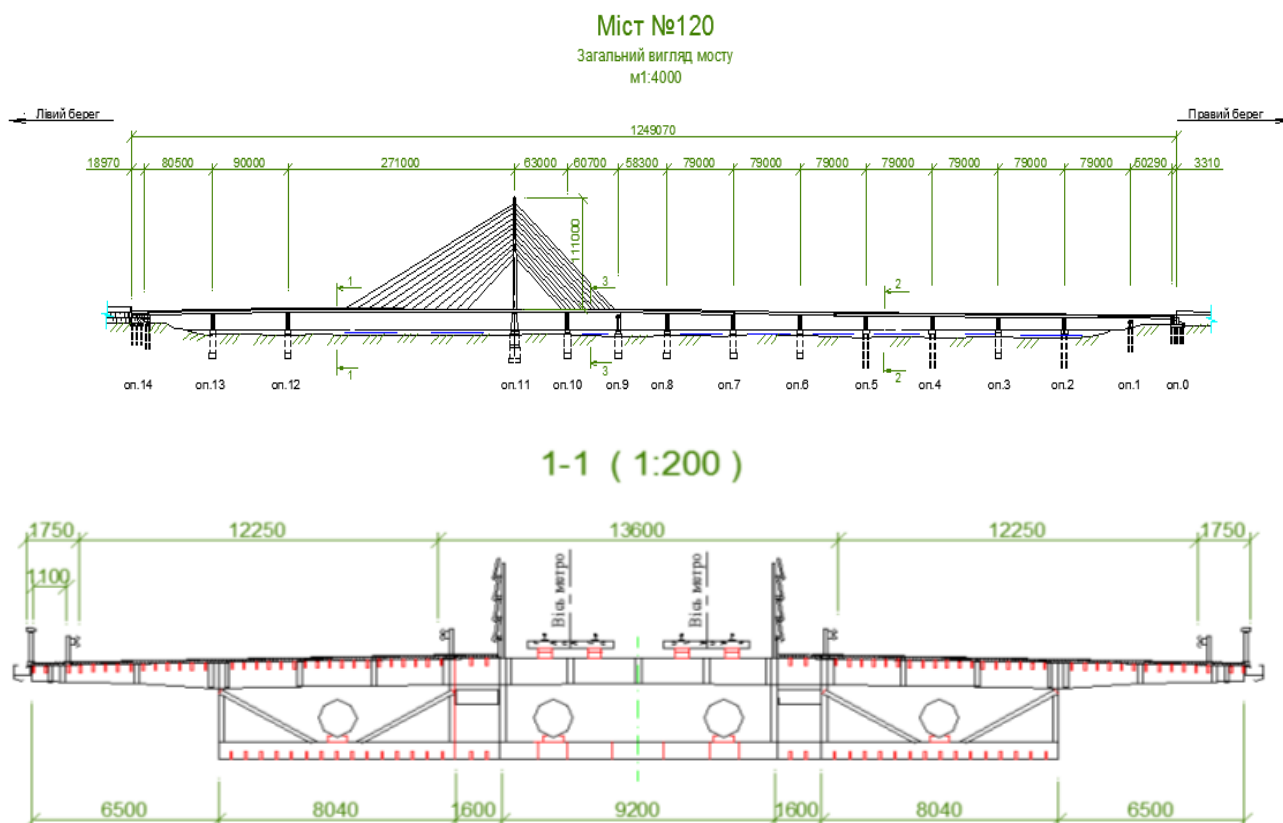


Рисунок 2.1 – Схема Південного мостового переходу та його поперечний переріз

На сьогоднішній день мостове полотно та деформаційні шви на металевій прогоновій будові вантової частини Південного мостового переходу через р. Дніпро потребує проведення капітального ремонту. Тому, вирішено застосування водонепроникного асфальтобетону у зв'язку з тим, що він апробований в Україні з урахуванням інтенсивності та кліматичних умов. При розрахунку дорожнього одягу необхідно враховувати історію будівництва (було започатковано у 1982 році), відкрито автомобільний рух по мосту (1990 року) та рух поїздів метро (1992 року) Даний міст був запроектований за схемою тимчасового навантаження А15, НК-80, а на даний час мости проектують під навантаження А15, НК-100 згідно [1 – 2]. Це ще раз підтверджує, що інтенсивність транспортних засобів і навантаження на покриття металевої транспортної споруди зросла в порядки разів.

2.2 Аналітичний метод розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах від спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів

Для вирішення поставлених задач необхідно мати умову міцності, що враховує характер руйнування при змінних в часі напруженні та температурі.

Вихідною інформацією про міцнісні властивості матеріалу при вивченні тривалої міцності є результат випробування на довговічність при постійному навантаженні (наприклад в умовах осьового розтягу) і постійній температурі T . При цьому визначають, як правило, залежність часу до руйнування t^* від напруження та температури, що витримує зв'язок від часу дії постійного навантаження і температури [91, 106, 109, 110]:

$$t^* = t^*(\sigma, T). \quad (2.1)$$

Найчастіше використовують степеневий або експонентний вираз для цих залежностей [38, 39, 43, 82, 100, 106, 109, 110, 116 – 120].

$$t^*(\sigma, T) = B_t \sigma^{-b}, \quad (2.2)$$

де B_t , b – постійні, що залежать від температури.

Вираз (2.2) – відома залежність Г.М. Бартенєва, застосування якої до асфальтобетону показане в роботах Б.С. Радовського, В.В. Мозгового, В.А. Золотарьова, Г.Н. Кирюхіна, В.С. Титаря, О.М. Бесараба, А.М. Онищенко, О.О. Жукова, В.Ф. Невінгловського, В.В. Смолянця та ін. [8, 36, 44, 55, 99 – 110, 121].

Специфічність транспортного потоку на асфальтобетонному покритті металевих транспортних споруд та режим його руху можуть бути враховані при застосуванні кінетичної теорії міцності твердих тіл та теорії

термов'язкопружності [102, 116]. У даному випадку граничний стан можна описати умовою довготривалої міцності Бейлі (умова (1.6) розділ 1).

Враховуючи, що критерій Бейлі неодноразово використовувався для оцінки довговічності асфальтобетонних покриттів [108 – 110, 117, 120], його доцільне застосування показано стосовно асфальтобетонного покриття як доріг так і транспортних споруд [110]. Для вирішення поставлених задач скористаємося цим підходом [91, 99, 106, 109 – 110].

Оскільки характеристики міцності асфальтобетону залежать як від температури, так і від часу дії навантаження, проявляючи кінетичний характер руйнувань, то граничне прикладання навантаження на асфальтобетонне покриття на металевих транспортних спорудах визначали з використанням феноменологічного підходу у вигляді сумарної міри пошкодженості структури асфальтобетону M_P за час t зміни напруження, що відповідають певному рівню напружень для розрахункових схем (рис. 2.2 – 2.4).

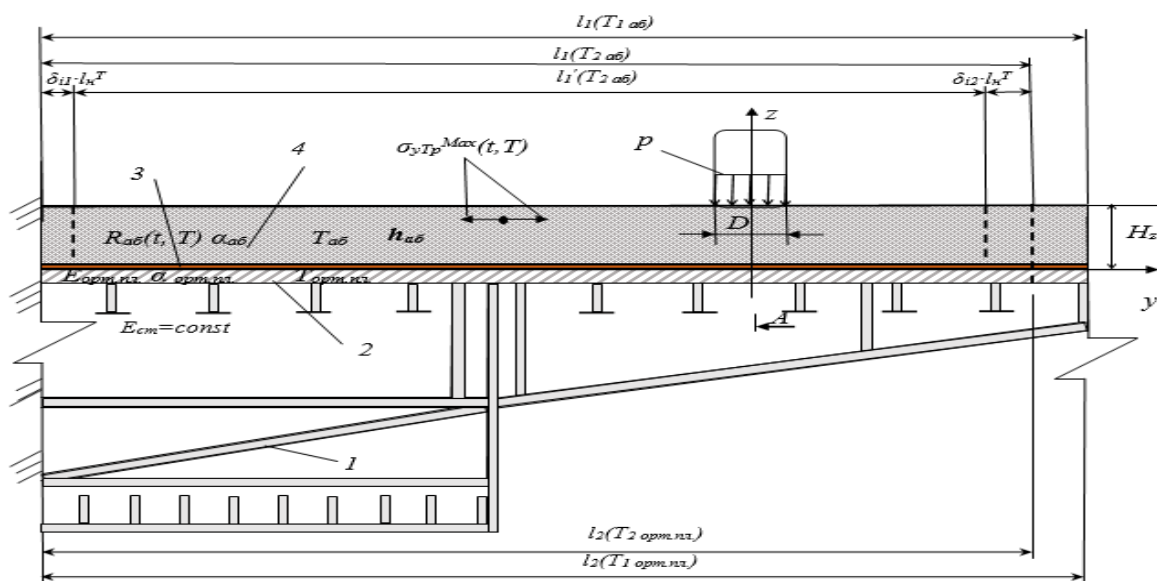


Рисунок 2.2 – Розрахункова схеми роботи одношарового асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів: 1 – металева конструкція металевої транспортної споруди, 2 – ортотропна плита, 3 – гідроізоляційний матеріал «Елімінатор», 4 – покриття з литого асфальтобетону (шар товщиною 70 – 90 мм)

На одношарове асфальтобетонне покриття ортотропної плити металевої транспортної споруди при дії пневматичних коліс транспортних засобів впливає: P – тиск в шині колеса автомобіля, що рівний 0,8 МПа, D – діаметр відбитку колеса автомобіля, G_k – вага автомобіля, $M_{\text{вп}}$ – дія крутного моменту, R – вертикальна сила, R_k – колова сила, T – сила протидії, r – радіус колеса (рис. 2.3) та $\sigma_{yTp}^{\text{Max}}(t, T)$ – максимальні верхні розтягуючі напруження від дії пневматичних коліс транспортних засобів.

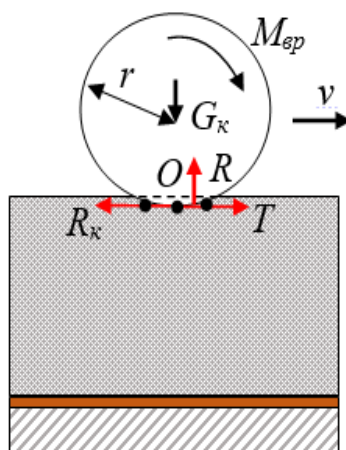


Рисунок 2.3 – Взаємодія рухомого пневматичного колеса з одношаровим асфальтобетонним покриттям на металевих транспортних спорудах

Від дії температури на асфальтобетонне покриття ортотропної плити металевої транспортної споруди впливають: $T_{a\bar{o}}$ та $T_{орт.пл.}$ – середні температури асфальтобетонного покриття та ортотропної плити, $h_{a\bar{o}}$ – товщина шару асфальтобетонного покриття, $R_{a\bar{o}}(t, T)$ – функція релаксації асфальтобетонного покриття, $E_{орт.пл.}$ – модуль пружності ортотропної плити, $\alpha_{a\bar{o}}$ – коефіцієнт лінійного температурного розширення асфальтобетонного покриття, $\alpha_{орт.пл.}$ – коефіцієнт лінійного температурного розширення ортотропної плити, $l_1(T_{1a\bar{o}})$, $l_2(T_{1орт.пл.})$ – довжина відповідно асфальтобетонного покриття та ортотропної плити до початку температурного скорочення, ($l_1(T_{1a\bar{o}})=l_2(T_{1орт.пл.})$), $l_1(T_{2a\bar{o}})$, $l_2(T_{2орт.пл.})$ – довжина відповідно асфальтобетонного покриття та ортотропної плити після температурного скорочення ($l_1(T_{2a\bar{o}})=l_2(T_{2орт.пл.})$), $l_1'(T_{2a\bar{o}})$ – довжина асфальтобетонного покриття, яка була б при вільному температурному

У цьому випадку граничний стан можна записати у вигляді:

$$M_p(t, T) = (M_{Tp}(t, T) + M_{Tem}(t, T)) \cdot K_\epsilon \leq C, \quad (2.3)$$

де M_p – сумарна міра пошкодженості асфальтобетонного покриття;

$$M_{Tp}(t, T) = \sum N_p \cdot \int_0^{t_H} \frac{\sigma_{yTp}^{Max}(t, T)^{b(t, T)}}{B_t(t, T)} dt - \text{міра пошкодженості асфальтобетонного}$$

покриття від пневматичних коліс транспортних засобів при максимальних розтягуючих напруженнях;

$$M_{Tem}(t, T) = n_i \int_0^{t_p} \frac{\sigma_{r, (Tem)}^{ab}(t, T)^{b(t, T)}}{B_t(t, T)} dt - \text{міра пошкодженості асфальтобетонного}$$

покриття від зміни температури відповідного сезону (n_i);

K_ϵ – коефіцієнт відновлення асфальтобетонного покриття (для асфальтобетону литого він рівний 0,80; для дрібнозернистого асфальтобетону – 0,85);

$C = [M] \cdot K_y$ – гранично допустиме значення показника міри пошкодженості асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах;

$[M]$ – гранично допустиме значення міри пошкодженості, що приймається рівним 1;

K_y – коефіцієнт умови роботи, що відображає матеріалоемні, експлуатаційні та конструктивні фактори, що дорівнює 0,98;

$\sigma_{r, (Tem)}^{ab}(t, T)$ – сумарні річні та добові температурні напруження, які складаються із літніх (σ_l), осінньо-весняних ($\sigma_{o, \epsilon}$) і зимових (σ_3), МПа;

n_i – період сезону;

$B_t(t, T)$, $b(t, T)$ – параметри функції довговічності;

t_p – час до руйнування, с;

$\sum N_p$ – сумарна кількість проїздів розрахункового навантаження за строк служби асфальтобетонного покриття. Визначається за формулою [115];

$\sigma_{yTp}^{Max}(t, T)$ – максимальні розтягуючі напруження від дії пневматичних коліс транспортних засобів, МПа;

t_n – час дії навантаження, с.

2.3 Визначення міри пошкодженості асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах від температурних напружень, що виникають внаслідок добових і річних температурних коливань

Для розглянутих розрахункових схем, з метою прогнозування температурних напружень, необхідно знати режим зміни температури асфальтобетонного покриття. Відомі результати теоретичних і експериментальних досліджень свідчать, що на температурний режим асфальтобетонного покриття впливають дві основні гармоніки [36, 41, 109 – 110, 122 – 123]:

- зміна температури в річному циклі коливань;
- зміна температури в добовому циклі коливань.

Це дозволяє записати вираз для розрахунку температурного режиму асфальтобетонного покриття у вигляді бігармонічного закону наступного виду [109 – 110]:

$$\bar{T}(t) = T_{cp} + \bar{A}_p(h) \cdot \cos \omega_p t + \bar{A}_d(h) \cdot \cos \omega_d t, \quad (2.4)$$

де T_{cp} – середня температура покриття;

$\bar{A}_p$ – середня по товщині амплітуда коливань температури покриття в річному циклі;

$\bar{A}_d$ – середня по товщині амплітуда коливань температури покриття в добовому циклі.

Дане рішення виразу (2.4) використовувалося в роботах [106, 110] для визначення температури по глибині асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах. Тому, дане рішення прийняте для наших досліджень.

Для встановлення параметрів виразу (2.4) скористаємося відомими підходами, що використовуються в діючій нормативно-технічній літературі [115]. Тоді амплітуду річних коливань (A_{np}) можна описати наступним виразом:

$$A_{np} = 0,5(T_{n,\max} + T_{n,\min}), \quad (2.5)$$

де $T_{n,\max}$, $T_{n,\min}$ – середньомісячна температура поверхні покриття відповідно самого теплого і самого холодного місяців.

Згідно методики [109, 110, 123, 124] температуру покриття у самому теплому місяці $T_{n,\max}$ з урахуванням впливу сонячного нагріву можна встановити за залежністю:

$$T_{n,\max} = \frac{4(\pi + 1)t_{нов,\max}}{3\pi}. \quad (2.6)$$

Середньомісячну температуру самого холодного місяця для асфальтобетонного покриття доцільно прирівнювати до відповідної температури повітря:

$$T_{n,\min} = t_{нов,\min}, \quad (2.7)$$

де $t_{нов,\min}$, $t_{нов,\max}$ – розрахункові значення середньомісячної температури повітря відповідно для самого холодного місяця (січень) та самого теплого місяця (липень).

З урахуванням статистичного розкиду розрахункові значення $t_{нов,\min}$, $t_{нов,\max}$ можуть бути визначені за наступними залежностями [109, 110, 113, 123]:

$$t_{нов,\min} = \bar{t}_{нов,\min} - \sigma_t t, \quad (2.8)$$

$$t_{нов, \max} = \bar{t}_{нов, \max} - \sigma_t t, \quad (2.9)$$

де $\bar{t}_{нов, \min}, \bar{t}_{нов, \max}$ – середні багаторічні значення середньомісячної температури повітря відповідно для самого холодного місяця та самого теплого місяця, встановлюється на основі кліматичних даних;

σ_t – середнє квадратичне відхилення середньомісячної температури повітря, що визначається в залежності від проектної надійності згідно методики [123];

t – коефіцієнт нормованого відхилення.

Таким чином, згідно залежності (2.4) з урахуванням (2.5 – 2.9) є можливість описувати зміну температури асфальтобетонного покриття для різних регіональних кліматичних умов.

Крім бігармонічного закону зміни температури покриття, практичний інтерес має швидкість його охолодження. У цьому випадку, використовуючи параметри (2.4) [109, 110], можна записати:

– при добових коливаннях температури

$$k_{\delta} = \frac{2A_{\delta}}{0,5t_{\delta}} = \frac{4A_{\delta}}{t_{\delta}}, \quad (2.10)$$

де t_{δ} – період добових коливань температури;

– при річних коливаннях температури

$$k_p = \frac{2A_p}{0,5t_p} = \frac{4A_p}{t_p}, \quad (2.11)$$

де t_p – період річних коливань температури.

Температурні напруження в асфальтобетонному покритті на металевих транспортних спорудах будемо визначати на основі теорії термов'язкопружності виходячи з того, що асфальтобетон є лінійним термореологічно простим матеріалом.

Для визначення температурних напружень скористаємося основними положеннями теорії термов'язкопружності [109, 110, 117] в одновимірній постановці.

Тоді на першому етапі, розглядаючи зміну температури із постійною швидкістю охолодження, визначимо температурні напруження, що будуть змінюватися із часом в асфальтобетонному покритті на металевих транспортних спорудах для розрахункових схем у випадку одного шару асфальтобетонного покриття (рис. 2.2) та двох шарів покриття (рис. 2.4).

Для даної задачі приймаємо, що температура T з часом t змінюється з постійною швидкістю [106, 109, 110]:

$$T(t) = T_n + k \cdot t, \quad (2.12)$$

де T_n – початкова температура;

k – швидкість охолодження.

Початкові умови задачі:

1. При $t=0$,

$$\begin{cases} T(t) = T_n \\ \tau_{Tx} = 0 \\ \varepsilon_x = 0 \end{cases}. \quad (2.13)$$

2. При $t=t$,

$$\begin{cases} T(t) = T_n + k \cdot t \\ \tau_{Tx} - ? \\ \varepsilon_x(t) = [\alpha_{1a\delta}(T) - \alpha_{орт.пл.}] \cdot \Delta T, \quad де \quad \Delta T = T(t) - T_n = kt \end{cases}, \quad (2.14)$$

де $\alpha_{1a\delta}(T)$ – коефіцієнт лінійного розширення асфальтобетону, що залежить від температури;

$\alpha_{орт.пл.}$ – коефіцієнт лінійного розширення ортотропної плити металевої транспортної споруди;

$\varepsilon_x(t)$ – нереалізована деформація асфальтобетону, $\varepsilon_x(t) = \varepsilon_T^{a/b}(t) - \varepsilon_T^M(t)$;

$\varepsilon_T^{a/b}(t)$ – повна деформація асфальтобетону при вільному скороченні;

$\varepsilon_T^M(t)$ – повна деформація ортотропної плити металеві транспортної споруди при вільному скороченні.

Таким чином, маємо одновимірну задачу термов'язкопружності для термореологічно простого тіла.

Розглянемо спочатку випадок, коли в'язкопружні властивості матеріалу покриття не змінюються при зміні температури (частковий випадок термов'язкопружності). Для цього скористаємося інтегральними рівняннями лінійної в'язкопружності спадкового типу Больцмана-Вольтера, який використовувався в роботах [8, 36, 44, 55, 99 – 110, 121]. Для нашого випадку температурні напруження можна виразити наступним рівнянням:

$$\sigma^{a/b}_{r,(T_{em})}(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\varepsilon(\tau), \quad (2.15)$$

де $R(t-\tau)$ – функція релаксації асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металеві транспортної споруди;

τ – час, який передує моменту спостереження;

$\varepsilon(\tau)$ – сумарна нереалізована відносна деформація асфальтобетонного покриття при зниженні температури та температурною зміною ортотропної плити металеві транспортної споруди.

З урахуванням залежностей (2.4), (2.5) та досліджень [8, 36, 44, 55, 99 – 110, 121], дана аналітична залежність уточнена за рахунок введення коефіцієнту лінійного розширення ортотропної плити ($\alpha_{орт.пл.}$). Тоді вираз (2.15) можна записати у вигляді:

$$\sigma^{a/b}_{r,(T_{em})}(t) = (\alpha_{a/b} - \alpha_{орт.пл.}) \cdot k \cdot \int_0^t R(t-\tau) d\tau. \quad (2.16)$$

Таким чином, отримане в загальному виді рівняння для температурних напружень в асфальтобетонному покритті, в'язкопружні властивості якого в незначній мірі або зовсім не залежать від температури.

Для рішення рівняння (2.15) необхідно мати конкретний вид функції релаксації $R(t)$.

Як показано багатьма дослідниками [8, 36, 44, 55, 99 – 110, 121], функція релаксації має наступні основні властивості (рис. 2.2): при $t=0$, $R(t)=E_0$ (E_0 – миттєвий модуль пружності); при $t=\infty$, $R(t)=E_\infty$, (E_∞ – довготривалий модуль пружності).

При використанні функції релаксації у вигляді модифікованого степеневому закону, маємо:

$$R(t) = E_\infty + (E_0 - E_\infty) \cdot \left(1 + \frac{t}{\eta}\right)^{-\lambda}, \quad (2.17)$$

де λ і η – постійні, що визначаються в результаті експерименту;

E_∞ і E_0 – довготривалий і миттєвий модулі пружності асфальтобетонного покриття відповідно.

Для визначення функції релаксації матеріалу, для будь-якої температури $R(t, T)$, достатньо знати функцію релаксації при будь-якій температурі $R(t, T)$ та коефіцієнт температурно-часового зміщення $a(T)$. Тоді можна записати:

$$R(t, T) = R(\xi, T_1), \quad (2.18)$$

$$\text{де} \quad \xi = \int_0^t \frac{dt}{a(T)}, \quad (2.19)$$

ξ – приведений час;

$a(T)$ – коефіцієнт температурно-часового зміщення, який залежить від температури;

T_1 – поточна температура.

Залежність $a(T)$ від температури T встановлюється експериментально для кожного конкретного матеріалу.

Отже, коефіцієнт $a(T)$ являє собою зсув за шкалою lgt функції релаксації; якщо $lga=0$, то властивості матеріалу не залежать від температури. Тобто, чим більше значення lga , тим сильніше змінюються властивості матеріалу зі зміною його температури.

У тому випадку, коли реологічні властивості асфальтобетону залежать від температури, можна скористатися температурно-часовою суперпозицією для визначення температурних напружень, яка застосовується для термореологічно простих матеріалів [105 – 109]. Для визначення температурних напружень при змінних властивостях від змінної температури необхідно у функції релаксації час t та t_1 замінити на відповідні приведення:

$$\xi = \int_0^t \frac{dt}{a[T(t)]}, \quad (2.20)$$

$$\xi' = \int_0^{t_1} \frac{dt}{a[T(\tau)]}. \quad (2.21)$$

Підставимо знайдену залежність (2.20) та проведемо інтегрування:

$$\xi - \xi' = -\frac{e^{P(T_0 + k \cdot t - T_S)}}{P \cdot k} (e^{-P \cdot k \cdot (t - t_1)} - 1). \quad (2.22)$$

З урахуванням (2.22) остаточно отримаємо функцію релаксації у такому вигляді:

$$R(\xi - \xi') = E_n + (E_s - E_n) \cdot \left(1 + \frac{\frac{e^{P(T_0 + k \cdot t - T_S)}}{Pk} (e^{-P \cdot k \cdot (t - t_1)} - 1)}{\eta} \right)^{-\lambda}. \quad (2.23)$$

Знаючи приведений час та застосовуючи функцію релаксації у вигляді (2.23), а також інтегральне рівняння лінійної в'язко-пружності спадкоємного типу Больцмана-Вольтера, знайдемо температурні напруження в асфальтобетонному покритті на ортотропній плиті металевої транспортної споруди для розробленої розрахункової схеми (рис 2.2):

$$\sigma^{a\bar{o}}_{r,(Tem)}(t,T) = (\alpha_{a\bar{o}} - \alpha_{оптнл.}) \cdot k \cdot R_{a\bar{o}}(t,T), \quad (2.24)$$

$$\text{де } R_{a\bar{o}}(t,T) = \left(E_n + (E_s - E_n) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{e^{P \cdot (T_0 + k \cdot t - T_s)} (e^{-P \cdot k \cdot (t-t_1)} - 1)}{P \cdot k} \right)^{-\lambda} dt_1 \right) \quad (2.25)$$

Скориставшись функцією релаксації у вигляді (2.23), та після відповідних перетворень, отримаємо вираз для визначення температурних напружень для 2-го варіанту розрахункової схеми:

$$\sigma^{a\bar{o}}_{r,(Tem)}(t,T) = \left(\frac{(\alpha_{a\bar{o}1} + \alpha_{a\bar{o}2})}{2} - \alpha_{оптнл.} \right) \cdot k \cdot \bar{R}_{a\bar{o}}(t,T), \quad (2.26)$$

$$\text{де } \bar{R}_{a\bar{o}}(t,T) = \left(\sum_{i=1}^n R_{a\bar{o}i}(t,T) \times h_{a\bar{o}i} \right) \div \sum_{i=1}^n h_{a\bar{o}i} \quad (2.27)$$

$$\bar{R}_{a\bar{o}}(t,T) = \frac{\left(E_n^1 + (E_s^1 - E_n^1) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{e^{P_1 \cdot (T_0 + k \cdot t - T_s)} (e^{-P_1 \cdot k \cdot (t-t_1)} - 1)}{P_1 \cdot k} \right)^{-\lambda_1} dt_1 \right) \cdot h_1 + \left(E_n^2 + (E_s^2 - E_n^2) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{e^{P_2 \cdot (T_0 + k \cdot t - T_s)} (e^{-P_2 \cdot k \cdot (t-t_1)} - 1)}{P_2 \cdot k} \right)^{-\lambda_2} dt_1 \right) \cdot h_2}{h_{a\bar{o}1} + h_{a\bar{o}2}}, \quad (2.28)$$

де n – кількість шарів асфальтобетонного покриття ($n=2$); $\bar{R}_{a\bar{o}}(t,T)$ – середньо-інтегральне значення функції релаксації; $R_{a\bar{o}i}(t,T)$ – функція релаксації

i -го шару асфальтобетонного покриття; $h_{a\bar{b}i}$ – товщина i -го шару асфальтобетонного покриття ($i=2$); P, P_1, P_2 – параметри функції релаксації асфальтобетону у верхньому $h_{a\bar{b}1}$ та нижньому $h_{a\bar{b}2}$ шарі покриття, що визначаються експериментально; t, t_1, t_2 – час, який передусе моменту спостереження; $\lambda, \lambda_1, \lambda_2$ і η, η_1, η_2 – постійні, що визначаються в результаті експерименту; $E_n, E_v, E_n^1, E_v^1, E_n^2, E_v^2$ – відповідно довготривалий і миттєвий модулі пружності асфальтобетонного покриття; $\alpha_{a\bar{b}}, \alpha_{a\bar{b}i=1}, \alpha_{a\bar{b}i=2}, \alpha_{opt.пл.}$ – коефіцієнти лінійного температурного розширення одношарового асфальтобетонного покриття, верхнього і нижнього шарів асфальтобетонного покриття та ортотропної плити відповідно; T_0 – поточна температура; T_s – приведена температура; k – швидкість охолодження.

Міра пошкодженості асфальтобетонного покриття, коли реологічні властивості асфальтобетону залежать від температури, при використанні функції релаксації у вигляді (2.23) матиме вигляд (2.29).

У даному випадку міра пошкодження від зміни напружень з урахуванням добових і річних температурних коливань, визначається за наступною залежністю для розрахункових схем:

$$M_{Tem}(t, T) = \left(n_{i(1)} \int_0^{t_i} \frac{dt}{B_{\bar{l}} \cdot (\sigma_{\bar{l}}^p + \sigma_{\bar{l}}^d)^{-b\tau_{\bar{l}}}} + n_{i(o, \bar{e})} \int_0^{t_i} \frac{dt}{B_{o, \bar{e}} \cdot (\sigma_{o, \bar{e}}^p + \sigma_{o, \bar{e}}^d)^{-b\tau_{o, \bar{e}}}} + n_{i(3)} \int_0^{t_i} \frac{dt}{B_{\bar{z}} \cdot (\sigma_{\bar{z}}^p + \sigma_{\bar{z}}^d)^{-b\tau_{\bar{z}}}} \right), \quad (2.29)$$

$$\text{де } \sigma_{\bar{l}}^p = (\alpha_{a\bar{b}} - \alpha_{opt.пл.}) \cdot k \left(E_{\bar{l}}^n + (E_{\bar{l}}^e - E_{\bar{l}}^n) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{\frac{e^{P_{\bar{l}}(T_0 + k^p \cdot t - T_s)}}{P_{\bar{l}} \cdot k_{\bar{l}}^p} (e^{-P_{\bar{l}} \cdot k^p \cdot (t - t_1)} - 1)}{\eta_{\bar{l}}} \right)^{-\lambda_{\bar{l}}} \right),$$

$$\sigma_{\bar{l}}^d = (\alpha_{a\bar{b}} - \alpha_{opt.пл.}) \cdot k \left(E_{\bar{l}}^n + (E_{\bar{l}}^e - E_{\bar{l}}^n) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{\frac{e^{P_{\bar{l}}(T_0 + k^d \cdot t - T_s)}}{P_{\bar{l}} \cdot k_{\bar{l}}^d} (e^{-P_{\bar{l}} \cdot k^d \cdot (t - t_1)} - 1)}{\eta_{\bar{l}}} \right)^{-\lambda_{\bar{l}}} \right),$$

$$\sigma_{o,\varepsilon}^p = (\alpha_{a\bar{b}} - \alpha_{орт.пл.}) \cdot k \left(E_{o,\varepsilon}^H + (E_{o,\varepsilon}^6 - E_{o,\varepsilon}^H) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{e^{P_{o,\varepsilon}(T_0+k^p \cdot t - T_S)} (e^{-P_{o,\varepsilon} \cdot k^p \cdot (t-t_1)} - 1)}{P_{o,\varepsilon} \cdot k_{o,\varepsilon}^p} \right)^{-\lambda_{o,\varepsilon}} \right),$$

$$\sigma_{o,\varepsilon}^\partial = (\alpha_{a\bar{b}} - \alpha_{орт.пл.}) \cdot k \left(E_{o,\varepsilon}^H + (E_{o,\varepsilon}^6 - E_{o,\varepsilon}^H) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{e^{P_{o,\varepsilon}(T_0+k^\partial \cdot t - T_S)} (e^{-P_{o,\varepsilon} \cdot k^\partial \cdot (t-t_1)} - 1)}{P_{o,\varepsilon} \cdot k_{o,\varepsilon}^\partial} \right)^{-\lambda_{o,\varepsilon}} \right),$$

$$\sigma_3^p = (\alpha_{a\bar{b}} - \alpha_{орт.пл.}) \cdot k \left(E_3^H + (E_3^6 - E_3^H) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{e^{P_3(T_0+k^p \cdot t - T_S)} (e^{-P_3 \cdot k^p \cdot (t-t_1)} - 1)}{P_3 \cdot k_3^p} \right)^{-\lambda_3} \right),$$

$$\sigma_3^\partial = (\alpha_{a\bar{b}} - \alpha_{орт.пл.}) \cdot k \left(E_3^H + (E_3^6 - E_3^H) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{e^{P_3(T_0+k^\partial \cdot t - T_S)} (e^{-P_3 \cdot k^\partial \cdot (t-t_1)} - 1)}{P_3 \cdot k_3^\partial} \right)^{-\lambda_3} \right).$$

Враховуючи наведене вище, міра пошкодженості для розрахункової схеми (рис. 2.2) від зміни напружень з урахуванням добових і річних температурних коливань, визначається за залежністю (2.29) з урахуванням температурних напружень (2.24, 2.26).

2.4 Визначення міри пошкодженості асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах від розтягуючих напружень, що виникають внаслідок дії пневматичних коліс транспортних засобів

Для визначення міри пошкодженості структури асфальтобетонного покриття від дії пневматичних коліс транспортних засобів скористаємося підходами, що запропоновані в роботах [8, 36, 44, 55, 99 – 110].

При русі колеса автомобільного транспорту виникають зусилля (рис. 2.3). Окрім кліматичних та інших факторів, чи не найбільший вплив чинить дія

пневматичних коліс транспортних засобів. Особливо гостро ця проблема постала сьогодні, оскільки збільшення великовагових транспортних засобів призводить до збільшення тиску в шині колеса, що передається на асфальтобетонне покриття металевих транспортних споруд. Також, однією з основних проблем на асфальтобетонному покритті металевих транспортних споруд є протектор та шипи шин коліс транспортних засобів. При дії пневматичних коліс транспортних засобів з асфальтобетонним покриттям, виникають реакції від асфальтобетонного покриття – вертикальна сила R , що визначається за залежністю, яка в процесі руху колеса в напрямку дії крутного моменту $M_{\text{кр}}$, зміщується на величину a . За рахунок того, що колесо транспортного засобу гумове, змінюється динамічний радіус колеса R_k , що в свою чергу призводить до виникнення п'ятна контакту з діаметром D . У залежності від тиску повітря в шині п'ятно контакту змінюється. При збільшенні тиску, п'ятно контакту зменшується, що призводить до більших контактних напружень, при дії тієї ж ваги G на меншу контактну площу. Відповідно до [8, 36, 44, 55, 99 – 110] прийняте усереднене значення параметрів п'ятна контакту, що характеризується ідеалізованим циліндричним діаметром D .

Окрім вертикальної реакції R в процесі взаємодії колеса на асфальтобетонне покриття діє дотична сила від колеса P_k (рис. 2.2, 2.3), яка визначається за залежністю та протидіюча їй сила T , $T=f \cdot G$, де f – коефіцієнт тертя, G – вага.

Ці задані сили можуть бути значними у разі гальмування та рушання. В усталеному русі задані сили не значні [8, 36, 44, 55, 99 – 110].

Крім того на асфальтобетонне покриття від дії пневматичних коліс транспортних засобів діє бокова сила R_{θ} – вона виникає у разі здійснення маневру. Однак при прямолінійному усталеному русі така сила наближується до $\rightarrow 0$.

Аналіз наведених факторів, що впливають на утворення тріщин, зсувів, залишкових деформацій у вигляді колії на асфальтобетонному покритті від дії коліс транспортних засобів показав, що найбільш суттєвою під час прямолінійного усталеного руху є вертикальна реакція R , яка чинить найбільший

вплив на асфальтобетонне покриття, тому саме її враховуємо при виконанні досліджень. Дія інших сил є короткочасною в специфічних неосновних режимах руху.

Крім того, такі підходи при використанні усередненого п'ятна контакту та усередненого тиску на нього від ваги G розглянуто в роботах багатьох дослідників [8, 36, 44, 55, 99 – 110].

У нашому випадку на асфальтобетонне покриття, що знаходиться на проїзній частині консольної частини ортотропної плити металеві транспортної споруди діє колісне навантаження, яке викликає поверхні розтягуючі напруження, тому міра пошкодження від зміни напружень та дії пневматичних коліс транспортних засобів матиме вигляд (2.30):

$$M_{Tp}(t, T) = \sum N_p \cdot \int_0^{t_H} \frac{\sigma_{yTp}^{Max}(t, T)^{b(t, T)}}{B_t(t, T)} dt. \quad (2.30)$$

Тому, пропонується для оцінки напружено-деформованого стану покриття на металевій транспортній споруді застосувати числове моделювання. Це дозволить встановити та апроксимувати функції для визначення горизонтальних розтягуючих напружень в верхніх шарах покриття ортотропної плити вантової частини металеві транспортної споруди за поліноміальною моделлю для 4-змінних факторів за залежністю (2.30).

$$\sigma_{yTp}^{Max}(t, T) = \sigma_y(t, T) \cdot p \cdot K_\sigma, \quad (2.31)$$

де

$$\sigma_y(t, T) = A(t, T) - B_i(t, T) \cdot x_i + C_j(t, T) \cdot x_j - D_k(t, T) \cdot x_k + E_\gamma(t, T)x_\gamma + B_l(t, T) \cdot x_i^2 - C_j(t, T) \cdot x_j^2 - D_k(t, T) \cdot x_k^2 + E_\gamma(t, T)x_\gamma^2, \quad (2.32)$$

де $\sigma_{yTp}^{Max}(t, T)$ – максимальні верхні розтягуючі напруження від дії пневматичних коліс транспортних засобів;

$\sigma_y(t, T)$ – розтягуючі напруження за поліноміальною моделлю з урахуванням 4-змінних факторів визначається за залежністю (2.32);

$A(t, T)$, $B_i(t, T)$, $C_j(t, T)$, $D_k(t, T)$, $E_\gamma(t, T)$, – параметри, що залежать від часу дії навантаження та температури, а саме: діаметру та тиску колеса автомобіля, товщини асфальтобетонного покриття, модуля пружності;

K_δ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття під колесом автомобіля зі спареними балонами;

p – розрахунковий тиск на покриття, МПа;

x – фактори, що впливають на напружений стан покриття (x_i – товщина асфальтобетонного покриття, мм, x_j – тиск на покриття, МПа, x_k – модуль пружності асфальтобетонного покриття, МПа, x_γ – діаметр відбитку штампа колеса, мм).

У даному випадку міра пошкодження від зміни напружень від дії пневматичних коліс транспортних засобів з урахуванням (2.30 – 2.32) визначається за наступною залежністю:

$$M_{Tp}(t, T) = \sum N_p \cdot \int_0^{t_n} \frac{dt}{B \cdot (\sigma_y(A(t, T) + B_i(t, T) \cdot x_i + C_j(t, T) \cdot x_j^2 + D_k(t, T) \cdot x_k^3, p, K_\delta))^{-b}} \quad (2.33)$$

У даному випадку під пошкодженістю розуміють формальне кінетичне поняття незворотних розривів ушкоджень зв'язків у матеріалі, що накопичуються в часі при визначеному характері впливу основних факторів (в даному випадку від зниження температури під дією пневматичних коліс транспортних засобів). Міра пошкодженості в нашому випадку – відносний параметр, що характеризує ступінь ушкодження структури матеріалу при впливі руйнівних факторів, у порівнянні з максимально можливим значенням пошкодження (в даному випадку руйнування).

2.5 Алгоритм аналітичного опису тривимірної числової моделі

Враховуючи те, що на проїзній частині металевих транспортних споруд діє складне просторове навантаження, доцільно використати числовий метод визначення напружено-деформованого стану покриття, що базується на розв'язанні рівнянь теорії пружності – методу скінченних елементів як найбільш універсального і ефективного. Його особливістю є безпосередній перехід від континуального об'єкту до дискретного аналізу шляхом ділення області об'єкту, який досліджується на ряд під-областей та апроксимації полів переміщень, зусиль, напружень, наприклад, з використанням інженерно-розрахункового комплексу.

З урахуванням залежностей (2.31, 2.32) застосуємо числове моделювання, що дозволяє використовувати встановлені особливості поведінки асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах під дією транспортного навантаження.

Обумовлюється це тим, що схеми навантаження ускладнюються і потребують просторового вирішення задачі з метою підвищення якості проектування покриття мостового переходу. Тривимірне моделювання має за основну мету усунути недоліки дослідження силового навантаження та міцнісних характеристик покриття під навантаженням від дії коліс транспортних засобів у плоскій постановці. Це дає можливість більш об'єктивно оцінити ефективність взаємодії транспорту з покриттям металевої транспортної споруди.

Для цього широко застосовують інженерно-розрахункові комплекси типу Ansys, SolidWorks, Inventor та інші, які дозволяють використовувати встановлені особливості поведінки покриття під навантаженням.

Використання таких комплексів дозволяє зменшити строки виконання технічних розрахункових операцій, суттєво скоротити строки отримання результатів досліджень та проектування. Крім того, використання таких комплексів дозволяє отримати не тільки кількісні показники, а й візуальну

картину отриманих результатів. Модель частини мостового переходу виконана в середовищі тривимірного простору Mechanical Desktop з урахування (2.32) наведено на (рис. 2.5).

Фізико-механічні властивості покриття та металевої конструкції, навантаження, контакти та граничні умови до вирішення задачі виконано в середовищі тривимірного простору Mechanical Desktop (рис. 2.6), а також здійснено розбивання моделей на сітку скінченних елементів у вигляді тетраедрів.

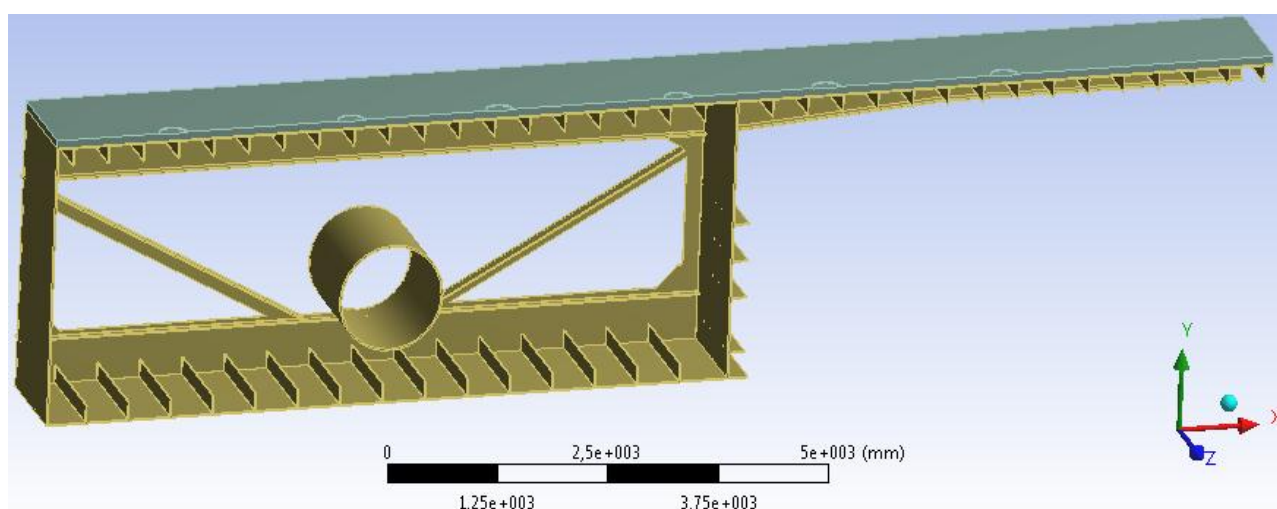


Рисунок 2.5 – Модель частини металевої транспортної споруди

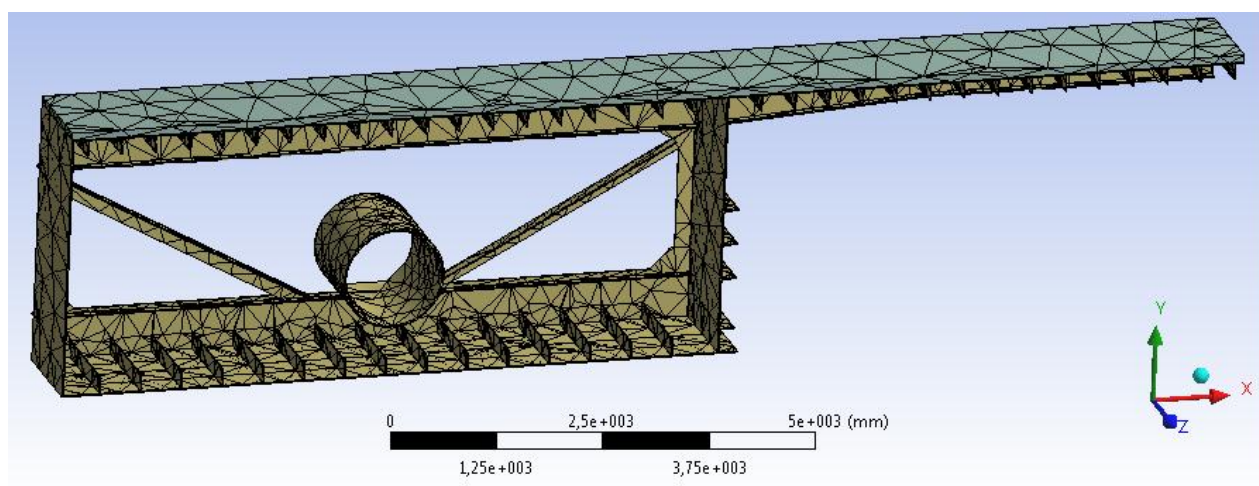


Рисунок 2.6 – Розбивання моделей на сітку скінченних елементів у вигляді тетраедрів

З урахуванням основних параметрів тетраедра (рис. 2.6) наведемо алгоритм аналітичного опису задачі у тривимірному просторі для просторового елемента моделі (тетраедра), описаний в [3]. Три компоненти переміщення u , v , та w апроксимуються в середині елемента співвідношеннями:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k & 0 & 0 \\ 0 & N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k & 0 \\ 0 & 0 & N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{3i-2} \\ U_{3i-1} \\ U_{3i} \\ U_{3j-2} \\ U_{3j-1} \\ U_{3j} \\ U_{3k-2} \\ U_{3k-1} \\ U_{3k} \end{Bmatrix} \quad (2.34)$$

Функції форми для дванадцяти вузлових значень в загальному вигляді (рис. 2.7) та співвідношення зв'язку між переміщеннями та деформаціями в даному випадку мають вигляд [3].

Матриця градієнтів $[B]$ у формулі $\{\varepsilon\} = [B]\{U\}$ легко обчислюється диференціюванням з наступним використанням залежностей [3].

Компоненти вектора напружень $\{\sigma\}$ повинні розташовуватись в такій самій послідовності, що й матриця градієнтів, а матриця пружних характеристик $[D]$ для тривимірного ізотропного матеріалу має вигляд у відповідності [3].

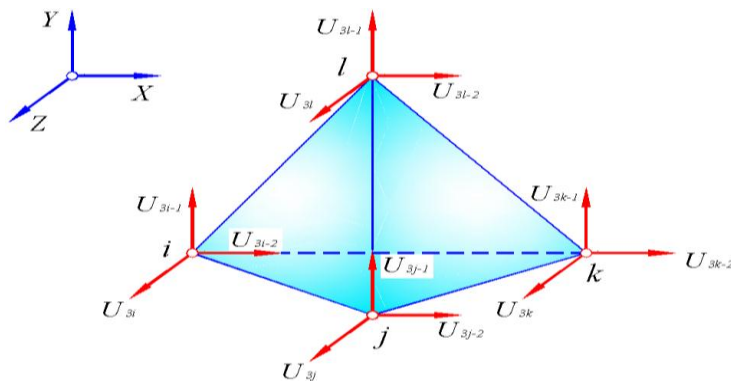


Рисунок 2.7 – Компоненти переміщення для вузлів об'ємного скінченного елемента

Враховуючи залежність (2.34) із застосуванням інженерно-розрахункового комплексу, отримано розрахункову схему дії зовнішніх навантажень на покриття мостового переходу приведену на (рис. 2.8).

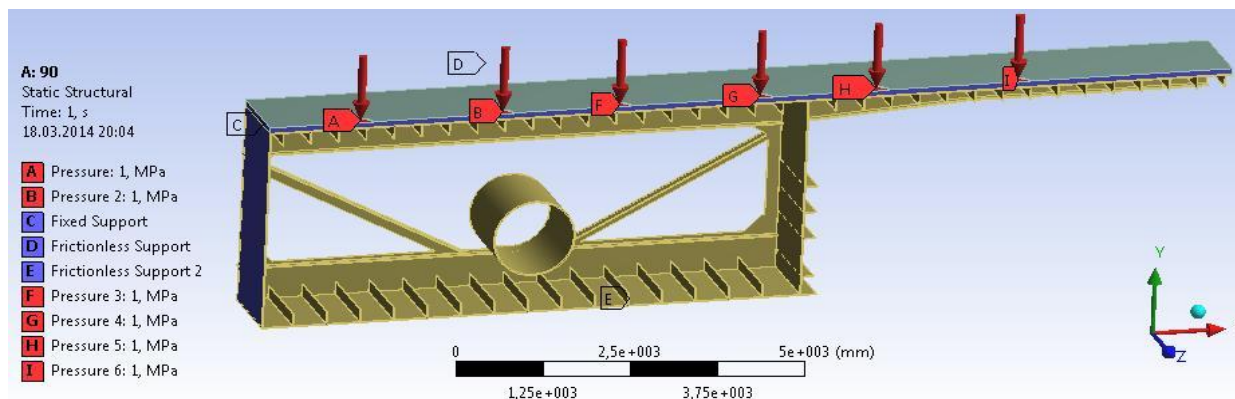


Рисунок 2.8 – Модель дії навантажень покриття металевої транспортної споруди від дії коліс пневматичних транспортних засобів

При зміні будь-яких значень вихідних факторів є можливість отримання функціональної залежності напружень в характерних точках від зміни цього фактору. Визначення напруженого стану в точках масиву покриття від зміни декількох факторів потребує проведення факторних експериментів з об'єктивним вибором комбінацій значень необхідних параметрів. У результаті, можна отримати математичну модель напружень в характерних точках ґрунтового масиву від зміни зовнішніх факторів у вигляді:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.35)$$

де y – функція відгуку, у даному випадку розтягуючи напруження σ у покритті металевої транспортної споруди;

x – фактори, що впливають на напружений стан покриття.

Існує велика кількість варіантів при плануванні факторних експериментів [173]. З урахуванням [174, 175] можна зробити висновок, що оптимальним для вирішення поставлених задач є планування другого порядку.

Плани другого порядку квадратичних моделей, близькі до D – оптимальних типу Bn , що знайшли найбільш широке використання,

порівняно з ортогональними та рототабельними планами Бокса. Вони відрізняються від інших планів другого порядку меншою кількістю дослідів та можливістю отримання оцінки коефіцієнтів регресії з мінімальними дисперсіями.

Отже, для побудови математичної моделі (рівняння регресії) визначення напруженого стану покриття, скористаємося повним факторним планом і планом типу Bn для квадратичних моделей.

При побудові плану повно факторного експерименту для отримання математичних моделей, з варіюванням змінних факторів на двох рівнях, число необхідних експериментів рівне $2k$, де k – кількість факторів. У разі переходу до планів типу Bn , для квадратичних моделей, кількість експериментів визначається як $2k + 2k$.

Вибір типу математичної моделі на початку дослідження базується на гіпотезі про лінійний вплив факторів x_i на величину функції відгуку, що вивчається. Математичні моделі, отримані за даними експериментів є емпіричними (статистичними). Статистичні математичні моделі призначені не для опису механізму явища визначення напружень в асфальтобетоні, а для визначення поведінки системи, при виборі виду функції будемо виходити з принципу простоти [173 – 175]. Останньому найкраще відповідають поліноміальні моделі порядку m , які для k -змінних факторів записуються, як:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{i=1+1}^k a_{in} x_i x_n + \sum_{i=1}^k \sum_{i=1+1}^k \sum_{i=n+1}^k a_{inj} x_i x_n x_j + \dots + a_{12\dots k} x_1 x_2 \dots x_k + \zeta, \quad (2.36)$$

де $a_0, a_i, a_{in}, a_{inj}$ – коефіцієнти значущості поліноміальної моделі.

У математичну модель введений доданок ζ , який відображає вплив випадкових факторів на результати розрахунку коефіцієнтів значущості моделі. Величина ζ – це похибка моделі або залишок. Ця величина випадкова, її математичне очікування дорівнює нулю, а дисперсія $S_y^2 \neq 0$.

Аналізуючи результати за такою моделлю має, бути реалізований принцип відповідності або принцип адекватності моделі [177]. У разі неадекватності залежності (3.36), розглядається можливість побудови квадратичної моделі:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{i=1+1}^k a_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{i=i+1}^k a_{in} x_i x_n + \zeta . \quad (2.37)$$

2.6 Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів

Довговічність асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах запропоновано визначати визначається за залежністю (2.3). З урахуванням залежності (2.3) пропонується визначити розрахунковий (очікуваний) строк служби $T_{POЗ}$ (в роках) асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, за аналітичною залежністю:

$$T_{POЗ} = \frac{C}{M_p(t, T)} \geq [T_H] , \quad (2.38)$$

де $[T_H]$ – нормативний строк служби асфальтобетонного покриття проїзної частини металевих транспортних споруд, що становить 15 років згідно з п.7.2.5 [1, 2];

$T_{POЗ}$ – розрахунковий (очікуваний) строк служби асфальтобетонного покриття (в роках).

Таким чином, отримані вирази (2.3, 2.38) дозволяють розраховувати строк служби запроектованого водонепроникного асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд за температурною тріщиностійкістю, з урахуванням спільного впливу сезонних добових та річних коливань температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

2.7 Послідовність розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг

Розрахунок довговічності асфальтобетонного покриття з використанням полімерів на металевих транспортних спорудах, з урахуванням з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів базується на аналітичних рішеннях (2.3, 2.38).

Розрахунок асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах згідно рисунку 2.4 слід виконувати у такій послідовності:

1. Встановлюємо вихідні дані асфальтобетонного покриття, що проектується згідно проекту, та експериментально визначаємо термомеханічні параметри матеріалів асфальтобетону литого та щебенево-мастикового.

2. Призначаємо тип покриття із асфальтобетону литого на основі бітуму модифікованого полімером, і експериментально встановлюємо його термореологічні та термомеханічні характеристики (функцію релаксації, функцію температурно-часового зміщення, функцію полімерно-часового зміщення, параметри функції довговічності).

3. Призначаємо крок (Δh) збільшення товщини в асфальтобетонному покритті.

4. Призначаємо крок ($\Delta q_{a,b,c}$) збільшення кількості полімеру (SBS, SBR, EVA) в бітум.

5. Згідно аналітичних залежностей, отриманих у розділі 2, визначаємо річні та добові температурні напруження $\sigma_{r,(T_{em})}^{ab}$, що виникають в асфальтобетонному покритті на ортотропній плиті металевих транспортних споруд при мінімальній товщині покриття та мінімальній кількості полімеру.

6. Згідно аналітичних залежностей, отриманих у розділі 2, визначаємо розтягуючі напруження від дії транспорту σ_{yTr}^{Max} , що виникають в асфальтобетонному покритті на ортотропній плиті металевих транспортних споруд, при мінімальній товщині покриття та мінімальній кількості полімеру.

7. На основі встановлених температурних напружень та параметрів функції довговічності, визначаємо міру пошкодженості M_{Tem} асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд.

8. На основі встановлених розтягуючих напружень від дії пневматичних коліс транспортних засобів та параметрів функції довговічності визначаємо міру пошкодженості M_{Tr} асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд.

9. На основі визначення міри пошкодження від дії добових і річних температур та дії транспорту, визначаємо розрахунковий T_{PO3} строк служби асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд.

10. Якщо виконується нерівність $T_{PO3} > [T_H]$, то можна вважати, що запроектована конструкція асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд відповідає заданому строку служби. Якщо в разі не виконання умови, $T_{PO3} < [T_H]$, то потрібно збільшити товщину покриття та / або кількість полімеру в бітумі, і провести відповідні розрахунки починаючи з пункту 3 та 4.

11. Також, при невиконанні умови забезпечення строку служби покриття на наортотропній плиті металевих транспортних споруд (п. 10) можливе призначення іншого типу асфальтобетону литого щебенево-мастикового. Необхідно знову встановити його термореологічні та термомеханічні характеристики і провести послідовно аналогічні розрахунки починаючи з п. 2.

12. При забезпеченні умови строку служби для даного асфальтобетону литого, підбирають ще 2 – 3 склади асфальтобетонів литих, що найкраще зарекомендували себе для ортотропної плити металевих транспортних споруд і виконують відповідні розрахунки (починаючи з п. 2) для забезпечення умови п. 9.

13. Таким чином, підібравши декілька варіантів асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд, визначають

більш оптимальний із розрахованих з урахуванням техніко-економічного обґрунтування.

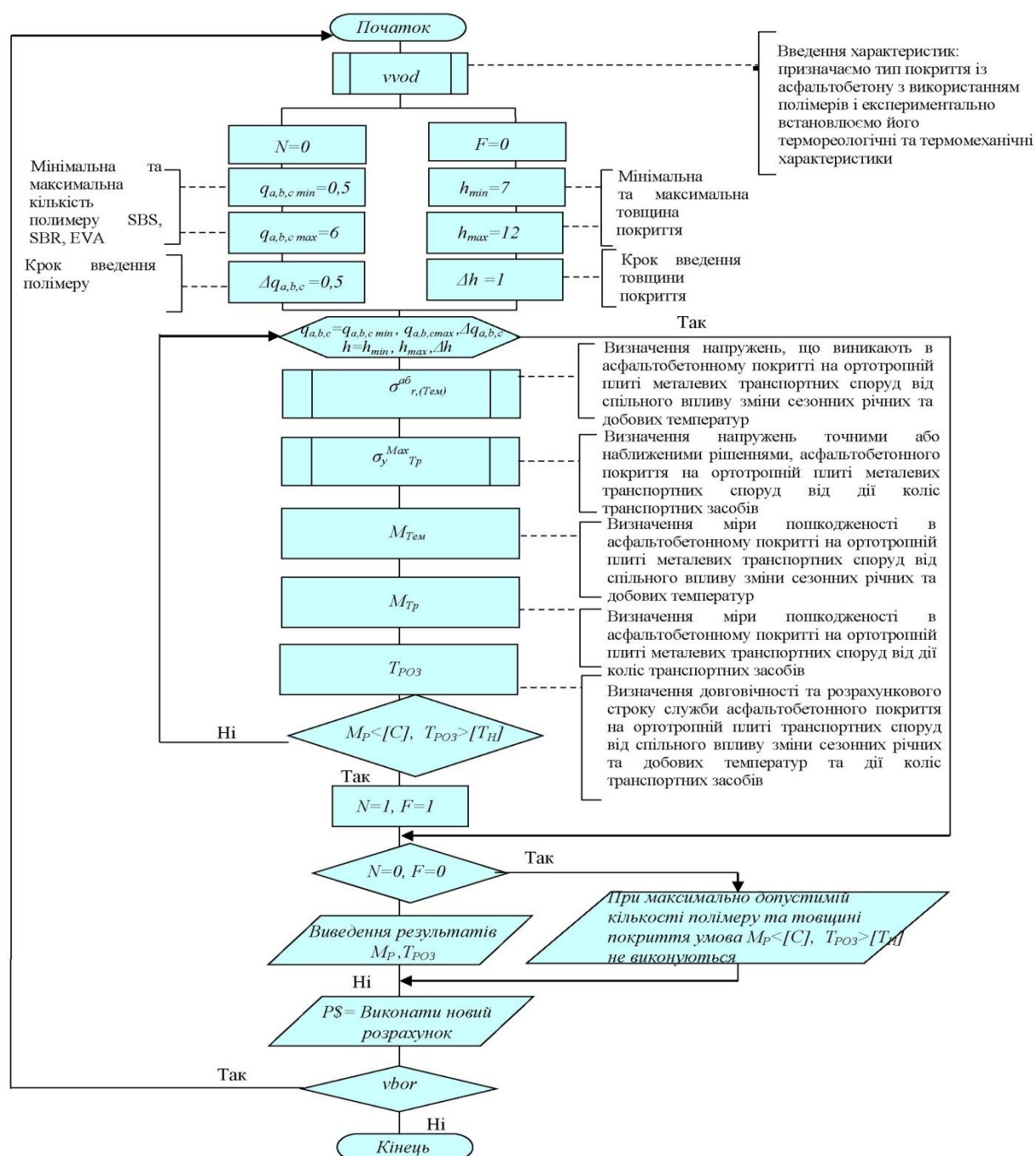


Рисунок 2.9 – Алгоритм розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття з використанням полімерів на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів

2.8 Висновки по розділу

Основними результатами, що викладені в даному розділі теоретичних досліджень стосовно методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, можна вважати:

1. Розроблено основні розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд, що враховують особливості конструкцій покриття. Для цих розрахункових схем розроблено аналітичні залежності для розрахунку горизонтальних (нормальних) розтягуючих напружень в верхніх шарах покриття ортотропної плити вантової частини за поліноміальною моделлю для 4-змінних факторів, що виникають в асфальтобетонному покритті та його шарах, з урахуванням спільного впливу сезонних річних і добових температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Ці аналітичні залежності отримані з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону, що описуються наступними функціями та параметрами: релаксації, коефіцієнтами температурної тріщиностійкості.

2. Отримано аналітичні залежності для розрахунку довговічності за тріщиностійкістю асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах з використанням полімерів, з урахуванням спільного впливу сезонних річних і добових температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Удосконалено метод розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

3. Для вирішення питання удосконалення методу проектування асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, оцінювали тріщиностійкість від дії пневматичних коліс транспортних засобів та зниження при різній в часі температури; використовували умову міцності, що враховує часовий характер руйнування; застосовували функцію довговічності у вигляді степеневі залежності та критерій довговічності, що запропонований Бейлі у вигляді міри пошкодженості, що відображає термореологічну поведінку

матеріалів, які містять органічне в'язуче при їх розтріскуванні. На основі цього, в залежності від виду розрахункової схеми, було визначено довговічність асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах з використанням полімерів.

4. На основі проведених теоретичних досліджень, розроблено алгоритм розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах з використанням полімерів, який можна застосовувати при проектуванні реконструкції, капітального ремонту чи будівництва покриття металевих транспортних споруд з урахуванням температурного режиму та конструктивних особливостей покриття.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУДАХ

Даний розділ присвячений експериментальному проведенню випробувань деформацій горизонтального листа ортотропної плити металевих транспортних споруд під експлуатаційним навантаженням; вивченню в'язкопружної поведінки досліджуваних асфальтобетонів, їх міцнісних характеристик, накопиченню залишкових деформацій у вигляді колії, міцності зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві, довговічності асфальтобетонів на основі бітуму модифікованого полімерами з впливом на нього різних факторів. Основними задачами цих досліджень було встановити термореологічні характеристики досліджуваних асфальтобетонів з використанням полімерів типу стирол-бутадієн-стрирол (Kraton D1101), стирол-бутадієн-радикал (Butonal NS 198), етилен-глицидил-акрилат (Elvaloy 4170), комплексного полімер-бітумного в'язучого «Полігум» (фізико-механічні властивості, функція релаксації, показники довговічності, коефіцієнт лінійного температурного деформування, коефіцієнт температурної тріщиностійкості, та ін.), а також зіставлення отриманих експериментальних даних з теоретичними результатами.

Результати експериментальних досліджень розповсюджуються на водонепроникні та високодеформативні асфальтобетонні покриття (литі та щебенево-мастикові суміші) на основі бітуму модифікованому полімерами типу SBS, SBR, EVA, та комплексного полімер-бітумного в'язучого Полігум (далі – СРВА, КПБВ «Полігум»), що використовуються для влаштування асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

У даному розділі проведені випробування та наведені методики, що дозволяють встановити механічні, фізичні, деформаційні та міцнісні

характеристики матеріалів покриття, що є складовою методу проектування асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд.

3.1 Об'єкти експериментальних досліджень

Для виконання поставленої задачі, в умовах науково-дослідної лабораторії «Технологія матеріалів і конструкцій транспортного будівництва» ім. проф. Г.К. Сюньї, при кафедрі дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету (НДЛ ТМКТБ ДБМіХ НТУ), за допомогою лабораторної лопатевої мішалки [126], було приготовлено бітуми модифіковані полімерами (далі – БМП) типу SBS у кількості 1 %, 3 % та 5 % (температура приготування 180 – 185 °С), SBR у кількості 2 %, 4 % та 6 % (температура приготування 170 – 175 °С) та EVA у кількості 1 %, 1,5 % і 2 % (температура приготування 185 – 190 °С). Час приготування БМП становив від 3 до 9 годин.

У роботі [110] наведена методика приготування бітуму модифікованого полімерами та адгезивами, за допомогою лабораторної лопатевої мішалки [126], що знайшла використання при розробці Стандарту організації України.

Різна кількість полімеру типу SBS, SBR та EVA, швидкість змішувача (об/хв.) та час приготування необхідні не лише для встановлення оптимальних параметрів бітумного в'язучого, а й для визначення оптимальної кількості полімеру та часу приготування, з метою одержання максимального ефекту [108, 110]. Після закінчення модифікації, БМП піддавався лабораторним випробуванням згідно [126].

Проектування та приготування асфальтобетонних сумішей, а також випробування лабораторних зразків із них, виконували у відповідності [95, 115, 121, 126, 127, 131 – 133, 140, 141, 147, 151]. При проектуванні асфальтобетонних сумішей визначали фізико-механічні характеристики у відповідності до [131, 151] за наступними показниками: водонасичення за об'ємом, границя міцності при стисканні за температури 20 °С та 50 °С,

границя міцності на розтягування при розколюванні за температури 0 °С, водостійкість при тривалому водонасиченні, визначення накопичення залишкових деформацій у вигляді колії, глибина вдавлювання штампу площею 5 см² за температури 40 °С. Результати фізико-механічних властивостей наведені в Додатку Б.

Експериментальні дослідження проводили на асфальтобетонних зразках типу ЛА-10, ЛА-15, ЩМА-10, ЩМА-15 та ЩМА-20 (далі – досліджувані асфальтобетони) на основі звичайного бітуму марки БНД 60/90, а також на основі БМП типу SBS з різною його кількістю (1 %, 3 %, 5 %), SBR з кількістю (2 %, 4 %, 6 %), EVA з кількістю (1 %, 1,5 %, 2 %) від маси бітуму та СРВА. Зернові склади наведені в додатку Б.

3.2 Методики визначення властивостей досліджуваних асфальтобетонів

Визначення натурних досліджень асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд

Метою натурних випробувань було проведення натурального обстеження стану асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд на прикладі Південного та Московського мостових переходів та виявлення на них характерних руйнувань у вигляді тріщин, лущення, викришування, напливів та колієутворення. При натурному обстеженні металевих транспортних споруд використовувались: фотоапарат для фіксації руйнувань, мірна стрічка, курвиметр для визначення довжини повздовжніх та поперечних тріщин, триметрова рейка для визначення залишкових деформацій у вигляді колії на асфальтобетонному покритті та кернавідбірник для фактичного дослідження асфальтобетонного покриття.

Натурні дослідження коливань ортотропної плити Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві під його експлуатаційним навантаженням, проводились Дніпропетровським відділом ДП «ДерждорНДІ». Результати натурних випробувань наведено в додатку В.

Визначення границі міцності асфальтобетону на розтяг при згині

Суть методики визначення межі міцності асфальтобетонних зразків-балочок $40 \times 40 \times 160$ на розтяг при згині, полягає у визначенні навантаження, необхідного для руйнування зразка-призми в умовах розтягу при 4-х точковому згині [95, 115]. Випробування зразків-балочок проводилися на розривній машині при швидкості навантаження $(128 \pm 0,3)$ мм/хв, за температури 0°C та 20°C .

Дана методика є удосконаленою у відповідності до методики [115]. Вона розроблена за участю автора та знайшла використання при розробці стандарту організації України [136], а також набула практичного значення в роботах [109, 110]. Результати випробувань наведено в Додатку Б.

Визначення модуля пружності

Визначення модуля пружності асфальтобетонних зразків у лабораторних умовах при температурі 0°C та 20°C проводилися за короткочасно діючими навантаженнями зразків-балочок у відповідності до методики [95, 115, 137].

Модуль пружності асфальтобетонних зразків-балочок $40 \times 40 \times 160$ визначали за допомогою маятникового приладу відповідно до [115] у лабораторних умовах експериментально, за температури 0°C , $+10^\circ\text{C}$ та $+20^\circ\text{C}$ при різному часі дії навантаження від 10^{-3} с до 10^{+6} с, а при температурі -20°C , -10°C та часі дії навантаження від 10^{-6} с до 10^{-3} с за температурно-часовою аналогією.

При визначенні миттєвого значення модуля пружності зразків-балочок використовували ультразвуковий імпульсний прилад СП УК-10ПМС, що дає можливість визначити швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль в асфальтобетонному зразку, в залежності від частоти коливань, яка визначає тривалість дії навантаження (с). Дані методики знайшли практичне значення в роботах [105 – 110, 114]. Результати модуля пружності наведені в Додатку Б.

Визначення параметрів функції довговічності

Визначення параметрів функції довговічності при постійному збільшенні навантаження проводили з використанням установки А-1 для різних схем випробування [6, 8, 46, 99, 137, 162]. Метою даної методики є випробування зразків-призм розміром $40 \times 40 \times 160$ мм на довговічність при постійному збільшенні навантаження та постійній температурі T . Зразки випробовували в лабораторних умовах при постійній швидкості силового навантаження в умовах одностороннього згину у відповідності до [115]. Дана методика знайшла практичне значення в роботах [108 – 110]. Результати визначення функції параметрів довговічності наведені в Додатку Б.

Визначення циклічної втоми

Випробування на втому полягає у моделюванні дії розтягуючих горизонтальних нормальних напружень, що виникають при згині монолітних шарів від дії колеса транспортних засобів. Випробування на втому досліджуваних асфальтобетонів проводили за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, при тиску у системі навантаження, який відповідає одному із рівнів напружень – $0,3 R_{\text{лаб}}$ або $0,6 R_{\text{лаб}}$ у відповідності до [138]. Дана методика знайшла практичне значення в роботах [109, 110, 138, 159]. Результати визначення циклів навантаження до руйнування зразків досліджуваних асфальтобетонів наведено в таблиці 3.13 – 3.14.

Визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості асфальтобетону

Суть методу полягає в оцінці руйнування структурних зв'язків асфальтобетону при повторному охолодженні за показником зменшення міцності на розтяг при згині після впливу температурних напружень, що виникають при неможливості вільного скорочення. Випробування проводилися на заздалегідь підготовлених зразках балочках розміром $40 \times 40 \times 160$ відповідно до [127, 164]. Досліджувані зразки термостатували протягом 6 годин

у морозильній камері де підтримувалася температура $(-20 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Після цього, досліджувані зразки виймали з морозильної камери і витримували на повітрі за температури $(+20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ протягом 6 год. Кількість повторень термостатування при температурі $(-20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ та $(+20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ становила 10 циклів.

Коефіцієнт температурної тріщиностійкості визначали за відношенням показника межі міцності на розтяг при згині після впливів циклічного охолодження до його середнього значення. Дана методика знайшла практичне значення в роботах [127, 164]. Результати визначення наведені в Додатку Б.

Визначення міцності зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві

Методика полягає у визначенні міцності зчеплення між асфальтобетоном литим, гідроізоляцією та металевою основою при дії горизонтальних і вертикальних зусиль, що моделюють дію зовнішнього навантаження на асфальтобетонне покриття при гальмуванні транспортних засобів відповідно до [115, 130].

Для випробувань виготовляли в лабораторних умовах зразки-керна (асфальтобетон литий + гідроізоляція + металева основа) діаметром 150 мм. Перевірка міцності зчеплення «зразків-композитів» (асфальтобетон литий ЛА-15 + гідроізоляція + основа металевий диск) при зсуві. Підготовлені «зразки-композити» (рис. 3.7) перед випробуванням термостатували в сушильній шафі при температурі $50 ^\circ\text{C}$, після чого «зразки-композити» випробовувались на міцність зчеплення при зсуві (рис. 3.8). Результати наведені в таблиці 3.6.

Визначення глибини вдавлювання штамп

Визначення проводили відповідно до [151] на зразках-кубах розміром $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ (см). Зразки виготовляли в металевих формах нагрітих до температури $150 - 170 ^\circ\text{C}$. Зразок у формі розміщували у посуд для

термостатування і витримували протягом 1,5 години при температурі $(+40 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Підготовлений зразок у формі розміщували у термостатуючий посуд приладу і разом з ним підводили під штамп площею 5 cm^2 . Навантаження на зразок від штока передавалось через кульку, яка була встановлена на штампі. Величина навантаження, яка передавалось штоком через штамп на зразок, складала 52,5 кг. Глибина вдавлювання штамп (в мм) визначалась за шкалою індикатора після 30 хв. дії навантаження. Розбіжність між отриманим значенням глибини вдавлювання штамп у асфальтобетоні литому за експериментом і аналітичним рішенням не повинна перевищувати 10 % [3].

Визначення залишкових деформацій у вигляді колії

Методика полягала у випробуванні на стійкість до накопичення залишкових деформацій зразка-плити асфальтобетону щебенево-мастикового та литого при підвищених температурах шляхом циклічного його навантаження через випробувальне колесо. Зразки-плити виготовляли відповідно до [134, 143]. Випробування зразків на стійкість до накопичення залишкових деформацій виконували на секторному пресі неогумленим сталевим колесом діаметром $(203,5 \pm 1) \text{ mm}$, при навантаженні на колесо $(700 \pm 10) \text{ N}$, за температури $(+50 \pm 1) ^\circ\text{C}$, відповідно до [130]. Максимальна кількість прикладених навантажень на досліджувані зразки становила 4000 проходів сталевого колеса по одному сліду. Дана методика знайшла практичне значення в роботах [3, 134, 143, 156, 166, 167, 170, 171]. Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці 3.8 – 3.9.

3.3 Результати експериментальних досліджень

Для розробки методу проектування асфальтобетонного покриття визначали всі необхідні термореологічні, термомеханічні та фізико-механічні властивості різних вихідних матеріалів. Відповідно до задач, що були поставлені в дисертаційній роботі, в даному підрозділі наведені результати

лабораторних досліджень литого та щебенево-мастикового асфальтобетонів [109, 127, 131, 133, 151] відповідно до п. 3.1.

Використання полімерів у всіх досліджуваних асфальтобетонах обумовлюється складною роботою покриття на металевих транспортних спорудах, де на нього крім дії коліс транспортних засобів діють також і погодно-кліматичні фактори.

Крім того, для порівняння результатів досліджень, випробовували щебенево-мастиковий та литий асфальтобетони на чистому бітуму марки БНД 60/90 згідно [5, 17, 57, 64, 163], що на даний час переважно використовується при влаштуванні асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

Випробування проводили згідно методик викладених в п. 3.2 в умовах лабораторії кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету.

3.3.1 Натурні дослідження асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах

Проведені дослідження розтріскування асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд підтвердили результати попередніх досліджень [3, 5, 169]. Отримані дані натурних досліджень дозволили виявити кінетику тріщиноутворення в асфальтобетонному покритті та виявити характерні особливості розвитку руйнувань і деформацій асфальтобетонного покриття на Південному та Московському мостових переходах (м. Київ) після утворення тріщин, напливів, колієутворення дії температури та транспорту. Результати обстеження дефектів наведено в таблиці 3.1.

Дніпропетровським відділом ДП «ДерждорНДІ» проводились натурні дослідження коливань ортотропної плити Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві під його експлуатаційним навантаженням, що необхідно для моделювання роботи дорожнього покриття при його проектуванні [1 – 4,

42, 92, 93, 106, 110]. Результати натурних випробувань наведені у Додатку В [1 – 4, 42, 92 – 93, 106, 110].

Таблиця 3.1 – Результати натурних досліджень руйнування асфальтобетонного покриття на Південному та Московському мостових переходах через р. Дніпро у м. Києві

Кількість руйнувань на 1000м ² асфальтобетонного покриття, %	Найменування об'єкту	
	Південний мостовий перехід через р. Дніпро	Московський мостовий перехід через р. Дніпро
Колійність	100	100
Сітка тріщин	30	60
Лущення	28	40
Поздовжні тріщини	15	15
Поперечні тріщини	11	12
Гребінка	15,5	1
Викришування	0,7	0,2

Характерною ознакою тріщин температурного походження в асфальтобетонному покритті є те, що вони виникають переважно у холодну пору року, коли значно зменшується релаксація температурних напружень (розділ 2), що виникають при зниженні температури, а самі температурні напруження значно збільшуються, що викликає розрив зв'язків у матеріалі покриття. Такі тріщини виникають у напрямках перпендикулярних напрямку дії найбільших температурних напружень. У зв'язку з тим, що для асфальтобетонного покриття металевих мостових споруд такі напруження діють переважно вздовж вісі проїзної частини (розділ 2), температурні тріщини, головним чином, виникають у поперечному напрямку, перетинаючи проїзну частину повністю або частково [3, 4, 92, 93]. Проходячи через найбільш слабкі поперечні розрізи, в залежності від ступеню неоднорідності асфальтобетонного покриття, такі тріщини мають різну ступінь звивистості і можуть бути безпосередньо перпендикулярними до осі проїзної частини.

Тріщини починають виникати в асфальтобетонному покритті металевих транспортних споруд через зниження строку служби покриття таких споруд. Це залежить, як від кліматичних умов, так і від характеристик асфальтобетону, а також від конструктивних особливостей прогонових будов і дорожнього одягу, про що свідчить аналіз теоретичних результатів (розділ 2).

Збільшенню ширини тріщини сприяє обламування її кромek, що ініціює виникнення ямковості, вибоїн тощо [3]. Крім того, в місцях утворення тріщин відбувається руйнування асфальтобетонного покриття внаслідок замерзання в тріщинах води взимку.

Наявність води між покриттям та гідроізоляцією призводить до гідравлічних ударів (розділ 1), що призводить до руйнування матеріалу в контактній зоні, руйнування самого покриття, гідроізоляційного шару, замокання і ослаблення прогонової будови та конструкції в цілому [3]. Застосування традиційних асфальтобетонів при виконанні ремонтно-відновлювальних робіт не дає позитивних результатів, що призводить до додаткових витрат і суттєвого погіршення безпеки руху.

Також, відбувається руйнування асфальтобетонного покриття від металевої частини прогонової будови при дії температурних напружень, внаслідок різниці коефіцієнтів температурного розширення (розділ 1, 2) асфальтобетону та металу. Одночасний вплив зміни температури та дії коліс транспортних засобів призводить до завчасного руйнування асфальтобетонних покриттів.

Таким чином, результати виконаних досліджень розтріскування асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд від дії температури з урахуванням дії коліс транспортних засобів, підтверджують актуальність питання і свідчать про доцільність розробки методу розрахунку на тріщиностійкість асфальтобетонного покриття на металевих мостових спорудах.

3.3.2 Визначення технологічних параметрів при модифікації бітуму полімером

При приготуванні бітуму модифікованого полімерами типу SBS (Kraton D1101), SBR (Butonal NS 198) та EVA (Elvaloy 4170) встановлювали спочатку раціональну кількість полімеру для досягнення його оптимальних властивостей.

Результати фізико-механічних властивостей бітуму модифікованого різною кількістю полімеру, що приготовлений при різному часі модифікації (3, 6 та 9 годин) за температури 175 °C наведені в таблиці 3.2 – 3.4.

Таблиця 3.2 – Фізико-механічні властивості вихідного бітуму та бітуму модифікованого полімером

Найменування, склад та час модифікації	Показники властивостей при 3 годинах модифікації			
	П ₂₅ , 0,1 мм	T _p , °C	Д ₂₅ , см	E ₂₅ , %
БНД 60/90	86	46	>100	25
КПБВ Полігум	60	75	65	95
БНД 60/90 + 1% Kraton D1101	61	54	>80	36
БНД 60/90 + 3% Kraton D1101	53	63	66	82,5
БНД 60/90 + 5% Kraton D1101	48	71	58	90
БНД 60/90 + 2% Butonal NS 198	73	52	>90	61
БНД 60/90 + 4% Butonal NS 198	65	56	66	75
БНД 60/90 + 6% Butonal NS 198	62	65	62,5	82,5
БНД 60/90 + 1% Elvaloy 4170	71	54	>95	55
БНД 60/90 + 1,5% Elvaloy 4170	69	57	69	79
БНД 60/90 + 2% Elvaloy 4170	64	63	51,5	83,5

Результати визначення пенетрації бітуму модифікованого різною кількістю полімеру Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум» приготовленого при 3 годинах його модифікації показали (табл. 3.2), що суттєва зміна в'язкості бітуму відбувається саме в перші три години його модифікації. Так, через три години модифікації бітуму значення його пенетрації (25 °C) полімером Kraton D1101 при модифікації 1 % полімеру зменшилося на 29 %, при 3 % полімеру – на 38 %, а при 5 % – на 45 %. При модифікації полімером Butonal NS 198 при 2 % полімеру значення показника пенетрації зменшилося на 15 %, при 4 % полімеру – на 25 %, а при 6 % – на 28 %. При модифікації полімером Elvaloy 4170 при 1 % полімеру значення пенетрації зменшилося на 17 %, при 1,5 % полімеру – на 20 %, а при 2 % – на 25,5 %. При КПБВ «Полігум» значення пенетрації зменшилось на 31 %.

Аналізуючи результати випробувань БМП за температурою розм'якшення згідно (табл. 3.2), при різній кількості полімеру Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум» після 3 годин його модифікації, можна зробити висновок, що вагоме збільшення даного показника відбувається після перших трьох годин модифікації в'язучого полімерами, а саме: при модифікації 1 % полімеру Kraton D1101 температура розм'якшення збільшилася на 17 %, при 3 % полімеру – на 37 %, а при 5 % – на 54 %. При модифікації 2 % полімеру Butonal NS 198 температура розм'якшення збільшилася на 13 %, при 4 % полімеру – на 22 %, а при 6 % – на 41 %. При введенні 1 % полімеру Elvaloy 4170 температура розм'якшення збільшилася на 17 %, при 1,5 % полімеру – на 24 %, а при 2 % – на 37 %. При модифікації КПБВ «Полігум» значення показника температури розм'якшення збільшилася на 63 %.

Що стосується результатів визначення показників еластичності бітуму модифікованого різною кількістю полімеру Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум», при 3 годинах його модифікації показали (табл. 3.2), що суттєва зміна цих показників також відбувається в перші три години модифікації бітуму полімерами: показник еластичності при 1 % полімеру Kraton D1101 збільшився в 1,44 рази, при 3 % полімеру – в 3,3 рази, а

при 5 % – в 3,6 рази. При модифікації 2 % полімеру Butonal NS 198 показник еластичності збільшився в 2,45 рази, при 4 % полімеру – в 3 рази, а при 6 % – в 3,3 рази. При модифікації 1 % полімеру Elvaloy 4170 показник еластичності збільшився в 2,2 рази, при 1,5 % полімеру – в 3,16 рази, а при 2 % – в 3,34 рази. При модифікації КПБВ «Полігум» значення показника еластичності збільшилось в 3,8 рази.

Таблиця 3.3 – Фізико-механічні властивості вихідного бітуму та бітуму модифікованого полімером

Найменування, склад та час модифікації	Показники властивостей при 6 годинах модифікації			
	П ₂₅ , 0,1 мм	Т _p , °С	Д ₂₅ , см	Е ₂₅ , %
БНД 60/90	86	46	>100	25
КПБВ «Полігум»	58	79	60	97
БНД 60/90 + 1% Kraton D1101	57	55,5	>80	40
БНД 60/90 + 3% Kraton D1101	49	66	63	84
БНД 60/90 + 5% Kraton D1101	45	73,5	55	92
БНД 60/90 + 2% Butonal NS 198	71	54,5	>80	64
БНД 60/90 + 4% Butonal NS 198	59	56	62	77
БНД 60/90 + 6% Butonal NS 198	54	66,5	58	83
БНД 60/90 + 1% Elvaloy 4170	69	56	>90	57
БНД 60/90 + 1,5% Elvaloy 4170	65	58,5	65	80,5
БНД 60/90 + 2% Elvaloy 4170	62	65	47	85

Через 6 годин модифікації бітуму значення його пенетрації (25 °С) при модифікації 1 % полімеру Kraton D1101 зменшилося на 33 %, при 3 % полімеру – на 43 %, а при 5 % – на 47 %. При модифікації 2 % полімеру Butonal NS 198 значення пенетрації зменшилося на 18 %, при 4 % полімеру – на

31 %, а при 6 % – на 37 %. При модифікації 1 % полімеру Elvaloy 4170 значення пенетрації зменшилося на 20 %, при 1,5 % полімеру – на 24,5 %, а при 2 % – на 28 %. При модифікації КПБВ «Полігум» значення показника пенетрації зменшилось на 33 %.

Після 6 годин модифікації в'язучого полімерами, результати випробувань БМП за показником температури розм'якшення (табл. 3.3), при різній кількості полімеру Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум», наступні: при модифікації 1 % полімеру Kraton D1101 температура розм'якшення збільшилася на 21 %, при 3 % полімеру – на 43 %, а при 5 % – на 59 %. При модифікації 2 % полімеру Butonal NS 198 температура розм'якшення збільшилася на 18 %, при 4 % полімеру – на 24 %, а при 6 % – 45 %. При модифікації 1 % полімеру Elvaloy 4170 температура розм'якшення збільшилася на 22 %, при 1,5 % полімеру – на 27 %, а при 2 % – 41 %. При модифікації КПБВ «Полігум» значення показника температури розм'якшеності збільшилося на 71 %.

Результати визначення показників еластичності бітуму модифікованого різною кількістю полімеру Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум», приготовленого при 6 годинах його модифікації показали (табл. 3.3) наступне: при модифікації 1 % полімеру Kraton D1101 показник еластичності збільшився в 1,6 рази, при 3 % полімеру – в 3,36 рази, а при 5 % – в 3,68 рази. При модифікації 2 % полімеру Butonal NS 198 показник еластичності збільшився в 2,56 рази, при 4 % полімеру – в 3,08 рази, а при 6 % – в 3,32 рази. При модифікації 1 % полімеру Elvaloy 4170 показник еластичності збільшився в 2,28 рази, при 1,5 % полімеру – в 3,21 рази, а при 2 % – в 3,40 рази. При модифікації КПБВ «Полігум» значення показника еластичності збільшилось в 3,88 рази.

По завершенню 9 годин модифікації (табл. 3.4) спостерігаємо наступну зміну властивостей бітуму модифікованого полімерами: значення показника пенетрації (25 °C) при модифікації 1 % полімеру Kraton D1101 зменшилося на 36 %, при 3 % полімеру – на 45,5 %, а при 5 % – на 51,5 %. При модифікації 2 %

полімеру Butonal NS 198 значення пенетрації зменшилося на 21 %, при 4 % полімеру – на 36 %, а при 6 % – на 41 %. При модифікації 1 % полімеру Elvaloy 4170 значення пенетрації зменшилося на 24,5 %, при 1,5 % полімеру – на 27%, а при 2 % – на 31,5 %. При модифікації КПБВ «Полігум» значення показника пенетрації зменшилось на 36 %.

Таблиця 3.4 – Фізико-механічні властивості вихідного бітуму та бітуму модифікованого полімером

Найменування, склад та час модифікації	Показники властивостей при 9 годинах модифікації			
	П ₂₅ , 0,1 мм	T _p , °C	Д ₂₅ , см	E ₂₅ , %
БНД 60/90	86	46	>100	25
КПБВ «Полігум»	55	81	55	98
БНД 60/90 + 1% Kraton D1101	55	56,5	>80	40
БНД 60/90 + 3% Kraton D1101	47	68	61	84,5
БНД 60/90 + 5% Kraton D1101	42,5	75	52,5	93
БНД 60/90 + 2% Butonal NS 198	68	55	>80	64,5
БНД 60/90 + 4% Butonal NS 198	55	57,5	60	78
БНД 60/90 + 6% Butonal NS 198	51	68	55	84,5
БНД 60/90 + 1% Elvaloy 4170	65	57,5	>90	57,5
БНД 60/90 + 1,5% Elvaloy 4170	63	59	63	81
БНД 60/90 + 2% Elvaloy 4170	59	66,5	44	85,5

Після 9 годин модифікації в'язучого полімерами результати випробувань БМП за температурою розм'якшення (табл. 3.4), при різній кількості полімеру Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум», наступні: при модифікації 1 % полімеру Kraton D1101 температура розм'якшення збільшилася на 22,8 %, при 3 % полімеру – на 47 %, а при 5 % – на 63 %. При модифікації

2 % полімеру Butonal NS 198 температура розм'якшення збільшилася на 19,5 %, при 4 % полімеру – на 25 %, а при 6 % – 47,8 %. При модифікації 1 % полімеру Elvaloy 4170 температура розм'якшення збільшилася на 25 %, при 1,5 % полімеру – на 28 %, а при 2 % – 44,5 %. При модифікації КПБВ «Полігум» значення показника температури розм'якшення збільшилося на 76 %.

Результати визначення показників еластичності бітуму модифікованого різною кількістю полімеру Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум», приготовленого після 9 годин його модифікації (табл. 3.4), показали наступне: при модифікації 1 % полімеру Kraton D1101 показник еластичності збільшився в 1,6 рази, при 3 % полімеру – в 3,38 рази, а при 5 % – в 3,72 рази. При модифікації 2 % полімеру Butonal NS 198 показник еластичності збільшився в 2,58 рази, при 4 % полімеру – в 3,12 рази, а при 6 % – в 3,38 рази. При модифікації 1 % полімеру Elvaloy 4170 показник еластичності збільшився в 2,30 рази, при 1,5 % полімеру – в 3,24 рази, а при 2 % – в 3,42 рази. При модифікації КПБВ «Полігум» значення показника еластичності збільшилось в 3,92 рази.

Аналіз отриманих результатів показав наступне, що БМП (табл. 3.2 – 3.4), який приготовлений з використанням полімерів типу SBS (Kraton D1101), SBR (Butonal NS 198), EVA (Elvaloy 4170) та комплексного полімер бітумного в'язучого «Полігум» свідчить про те, що оптимальна кількість полімеру, яка вводиться в бітум при його модифікації полімером Kraton D1101 становить 3 – 5 %, полімеру Butonal NS 198 – 2 – 4%, полімеру Elvaloy 4170 – 1 – 2%, КПБВ «Полігум» – 3 – 5 % полімеру типу SBS та хімічних компонентів, а оптимальний час приготування від 3 до 6 годин. Наведене свідчить про те, що отримані в роботі результати досліджень наближені до результатів робіт [108, 110].

3.3.3 Визначення фізико-механічних властивостей досліджуваних асфальтобетонів

Для встановлення часу приготування асфальтобетонної суміші з метою забезпечення її однорідності, попередньо були проведені дослідження фізичних та механічних властивостей асфальтобетону. Час приготування асфальтобетонної суміші коливався від 30 с до 5 хв. відповідно до [127], температура попереднього нагріву вихідних матеріалів відповідала вимогам [127, 131, 133, 141, 151, 154, 158, 160].

Порівняльні результати фізико-механічних властивостей досліджуваних зразків асфальтобетонів різної гранулометрії наведені в Додатку Б.

Результати визначення оптимальної кількості БМП при введенні полімеру типу SBS Kraton D1101, SBR Butonal NS 198, EVA Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум» для даних типів асфальтобетонів (ЛА-10, ЛА-15, ЩМА-10, ЩМА-15 і ЩМА-20) та результатами визначення межі міцності на стиск та розтяг при згині при температурах 0 °С, + 20 °С та + 50 °С наведено в Додатку Б.

За методикою п. 3.2.2 отримано результати коефіцієнтів температурної тріщиностійкості [110, 127, 163, 164].

Аналізуючи отримані результати видно, що умові критерію граничного стану, який становить 0,75, відповідають усі досліджувані асфальтобетони при використанні БМП із 3 % полімеру Kraton D1101, 4 %, полімеру Butonal NS 198 та 1,5 % полімеру Elvaloy 4170, а також на КПБВ «Полігум», результати яких наведено в додатку Б.

3.3.4 Визначення параметрів функції довговічності

Визначення параметрів функції довговічності проводились відповідно до [6, 8, 46, 99, 115, 137, 162]. Методика, за якою одержані результати випробувань зразків-балочок обраховувались за залежностями [115]. Випробування проводились при температурі зразків-балочок +20 °С та 0 °С.

Результати визначення параметрів функції довговічності ЛА-10, ЛА-15, ЩМА-10, ЩМА 15, ЩМА-20 та їх межі міцності на розтяг при згині наведені в Додатку Б.

Результати показника довговічності асфальтобетону литого (Додаток Б) показали, що довговічність в асфальтобетоні литому з максимальною крупністю зерен 15 мм більша в 1,18 – 1,56 рази у порівнянні з асфальтобетоном литим з максимальною крупністю зерен 10 мм.

3.3.5 Визначення міцності зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві

Аналіз результатів міцності зчеплення при зсуві «зразків-композитів» показав відповідність вимогам [146]. З результатів видно (рис. 3.1, 3.2), що зсув відбувся по асфальтобетону литому. Це свідчить про високу когезійну міцність зчеплення з гідроізоляцією, а також із металевою основою.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд підготовлених металевих основ із гідроізоляцією «Елімінатор» для укладання асфальтобетону литого

Із отриманих даних (табл. 3.5) видно, що коефіцієнти запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві між асфальтобетоном литим ЛА-15, гідроізоляцією та металевою основою (рис. 3.1, 3.2) складають для розрахункових автомобілів групи А1 від 1,31 (1,30), для розрахункових автомобілів групи А2 – від 1,47 (1,54), для розрахункових автомобілів групи Б – від 1,60 (1,78). Значення коефіцієнтів запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві відповідають випробуванням при екстремальному гальмуванні та повільному гальмуванні відповідно до [146].

3.3.6 Визначення глибини вдавлювання штампу

Аналіз результатів вдавлювання штампу площею 5 см² при температурі 40 °С після 30 хв. та 60 хв. дії навантаження 525 Н (табл. 3.6) показав, що асфальтобетон литий ЛА-15 та ЛА-10 з максимальною крупністю зерен 15 мм та 10 мм відповідає вимогам [151].

Таблиця 3.6 – Визначення глибини вдавлювання штампу в асфальтобетоні литому ЛА-10 та ЛА-15 від часу дії навантаження

Шифр асфальтобетону	Час дії навантаження, с					
	600	900	1800	2400	3000	3600
ЛА-10 (БНД 60/90 – 7,9%)	3,3	3,5	3,7	3,9	4,2	4,5
ЛА-10 (КПБВ «Полігум» – 8,1 %)	1,6	1,8	2,1	2,3	2,4	2,6
ЛА-10 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,2 %)	2,3	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4
ЛА-10 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	2,9	3,1	3,3	3,5	3,6	3,7
ЛА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	2,7	2,9	3,2	3,3	3,5	3,6
ЛА-15 (БНД 60/90 – 7,8%)	2,9	3,2	3,5	3,7	3,8	4,1
ЛА-15 (КПБВ «Полігум» – 8,0%)	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1
ЛА-15 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,1 %)	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0
ЛА-15 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	2,4	2,7	3,0	3,2	3,4	3,5
ЛА-15 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	2,3	2,5	2,9	3,1	3,2	3,3

Отримані результати глибини вдавлювання штампу для ЛА-10 показали, що після 30 хв. дії навантаження глибина вдавлювання штампу при 3 % полімеру Kraton D1101 в БМП зменшилася у 1,42 рази, при 4 % полімеру Butonal NS 198 у 1,12 рази, при 1,5 % полімеру Elvaloy 4170 у 1,16 рази, при випробуванні на КПБВ «Полігум» у 1,76 рази відповідно у порівнянні з ЛА-10 на бітумі БНД 60/90.

Визначення глибини вдавлювання штампу для ЛА-15 показали, що при 3 % полімеру Kraton D1101 в БМП зменшилася у 14,7 рази, при 4 % полімеру Butonal NS 198 у 1,17 рази, при 1,5 % полімеру Elvaloy 4170 у 1,21 рази, при випробуванні на КПБВ «Полігум» у 1,94 рази відповідно у порівнянні з ЛА-15 на бітумі БНД 60/90.

Отримані результати показали, що ЛА-15 на КПБВ «Полігум» більш стійкий до вдавлювання штампу в 1,18 рази у порівнянні з ЛА-10 на комплексному в'язучому «Полігум».

3.3.7 Визначення залишкових деформацій у вигляді колії

Методика полягає у випробуванні на стійкість до накопичення залишкових деформацій зразка-плити щебенево-мастикового та литого асфальтобетону при підвищених температурах шляхом циклічного його навантаження через випробувальне колесо [3, 134, 143, 156, 166, 167, 170, 171]. Зразок у формі розташовують на рухомій платформі, що здійснює зворотно-поступальний рух. На зразок встановлюють спеціальний навантажувальний пристрій у вигляді випробувального колеса та пристрій для вимірювання глибини колії. Випробування здійснюються шляхом повторного прокочування завантаженого колеса по поверхні підготовленого зразка-плити при заданій температурі з послідовним вимірюванням глибини колії як характеристики стійкості щебенево-мастикового та литого асфальтобетону до накопичення залишкових деформацій. Прилади, допоміжне обладнання відповідно до

[134, 143]. Підготовлені зразки-плити з досліджуваних асфальтобетонів термостатували при температурі $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ та випробовували на секторному пресі (рис. 3.3 – 3.4) при температурі $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ у відповідності до [134, 143]. Результати накопичення залишкових деформацій у вигляді колії із щебенево-мастикового та литого асфальтобетону наведені в таблиці 3.7 – 3.8.



Рисунок 3.3 – Секторний прес для випробування на колійність щебенево-мастикового та литого асфальтобетону



Рис. 3.4 – Випробуваний на колійність зразок-плита асфальтобетону литого ЛА-15 та ЛА-10 з максимальною крупністю зерен 15 мм та 10 мм

Таблиця 3.7 – Утворення залишкових деформацій у вигляді колії з щебенево-мастикового асфальтобетону ЩМА-10, ЩМА-15, ЩМА-20.

Шифр асфальтобетону	Кількість проходів колеса по одному сліду				
	500	1000	2000	3000	4000
ЩМА-10 (БНД 60/90 – 6,5%)	2,9	4,3	6,4	7,3	8,3
ЩМА-10 (КПБВ «Полігум» – 6,4 %)	0,7	1,3	2,0	2,5	2,7
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101– 6,6 %)	1,4	2,1	3,3	3,7	4,5
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,7 %)	1,7	2,4	3,9	4,7	5,6
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	1,5	2,3	3,7	4,4	5,2
ЩМА-15 (БНД 60/90 – 6,5%)	2,1	3,0	4,6	5,4	6,2
ЩМА-15 (КПБВ «Полігум» – 6,3 %)	0,6	1,1	1,7	2,2	2,4
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,4 %)	1,2	1,7	2,4	3,1	3,6
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198– 6,6 %)	1,5	2,1	2,9	3,7	4,4
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,5 %)	1,3	1,8	2,7	3,3	4,1
ЩМА-20 (БНД 60/90 – 6,0%)	1,2	1,6	2,5	3,1	3,7
ЩМА-20 (КПБВ «Полігум» – 5,9 %)	0,5	0,8	1,2	1,5	1,8
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101– 6,1 %)	0,8	1,2	1,8	2,1	2,4
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,2 %)	1,2	1,4	2,0	2,4	2,7
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	1,0	1,2	1,8	2,3	2,5

Аналіз результатів визначення накопичення залишкових деформацій у вигляді колії для ЩМА-10 при температурі + 50 °С, навантаженні 700 Н та 4000 проходів колеса по одному сліду показав, що при 3 % полімеру Kraton D1101 в БМП колія зменшилася у 1,84 рази, при 4 % полімеру Butonal NS 198 у 1,48 рази, при 1,5 % полімеру Elvaloy 4170 у 1,59 рази, при випробуванні на

КПБВ «Полігум» у 3,07 рази відповідно у порівнянні з ЩМА-10 на бітумі БНД 60/90.

Визначення накопичення залишкових деформацій у вигляді колії для ЩМА-15 при температурі + 50 °С, навантаженні 700 Н та 4000 проходів колеса по одному сліду показало, що при 3 % полімеру Kraton D1101 в БМП колія зменшилася у 1,72 рази, при 4 % полімеру Butonal NS 198 у 1,41 рази, при 1,5 % полімеру Elvaloy 4170 у 1,51 рази, при випробуванні на КПБВ «Полігум» у 2,58 рази відповідно у порівнянні з ЩМА-15 на бітумі БНД 60/90.

Для ЩМА-20 при температурі + 50 °С, навантаженні 700 Н та 4000 проходів колеса маємо такі результати: при 3 % полімеру Kraton D1101 в БМП колія зменшилася у 1,54 рази, при 4 % полімеру Butonal NS 198 у 1,37 рази, при 1,5 % полімеру Elvaloy 4170 у 1,48 рази, при випробуванні на КПБВ «Полігум» у 2,05 рази відповідно у порівнянні з ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90.

Таблиця 3.8 – Утворення залишкових деформацій у вигляді колії з асфальтобетону литого ЛА-10 та ЛА-15

Шифр асфальтобетону	Кількість проходів колеса по одному сліду				
	500	1000	2000	3000	4000
ЛА-10 (БНД 60/90 – 7,9%)	2,5	3,8	6,4	7,6	9,9
ЛА-10 (КПБВ «Полігум» – 8,1 %)	1,2	1,8	2,5	3,3	3,9
ЛА-10 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,2 %)	1,7	2,3	3,2	4,3	5,1
ЛА-10 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	2,0	3,1	4,5	5,2	6,1
ЛА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	1,9	2,8	3,9	4,8	5,7
ЛА-15 (БНД 60/90 – 7,8%)	2,3	3,8	4,9	5,4	7,0
ЛА-15 (КПБВ «Полігум» – 8,0%)	0,9	1,5	2,2	2,5	2,9
ЛА-15 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,1 %)	1,4	1,9	2,4	2,7	3,5
ЛА-15 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	2,0	2,8	3,6	4,0	4,5
ЛА-15 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	1,7	2,6	3,1	3,6	4,2

Аналіз результатів визначення накопичення залишкових деформацій у вигляді колії для ЛА-10 при температурі + 50 °С, навантаженні 700 Н та 4000 проходів колеса по одному сліду показав, що при 3 % полімеру Kraton D1101 в БМП колія зменшилася у 1,94 рази, при 4 % полімеру Butonal NS 198 у 1,62 рази, при 1,5 % полімеру Elvaloy 4170 у 1,73 рази, при випробуванні на КПБВ «Полігум» у 2,53 рази відповідно, у порівнянні з ЛА-10 на бітумі БНД 60/90.

Визначення накопичення залишкових деформацій у вигляді колії для ЛА-15 при температурі + 50 °С, навантаженні 700 Н та 4000 проходів колеса по одному сліду показав, що при 3 % полімеру Kraton D1101 в БМП колія зменшилася у 2,0 рази, при 4 % полімеру Butonal NS 198 у 1,56 рази, при 1,5 % полімеру Elvaloy 4170 у 1,63 рази, при випробуванні на КПБВ «Полігум» у 2,41 рази відповідно, у порівнянні з ЛА-15 на бітумі БНД 60/90.

Результати випробувань показали, що асфальтобетон литий ЛА-15 з максимальною крупністю зерен 15 мм після 4000 проходів колеса по одному сліду більш стійкий до накопичення залишкових деформацій, у порівнянні до асфальтобетону литого ЛА-10 з максимальною крупністю зерен 10 мм. Так, глибина утворення колії на чистому бітумі БНД 60/90 у асфальтобетону литого ЛА-15 в 1,41 рази менша від ЛА-10, при 3 % полімеру Kraton D1101 в БМП глибина колії у ЛА-15 в 1,45 рази менша від ЛА-10, при 4 % полімеру Butonal NS 198 в БМП глибина колії у ЛА-15 в 1,35 рази менша від ЛА-10, при 1,5 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП глибина колії у ЛА-15 в 1,37 рази менша від ЛА-10, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» глибина колії у ЛА-15 в 1,32 рази менша від ЛА-10 відповідно.

Порівняння результатів показали, що асфальтобетон литий ЛА-15 з максимальною крупністю зерен 15 мм більш стійкий до утворення колії в 1,3 – 1,4 рази, у порівнянні з асфальтобетоном литим ЛА-10 з максимальною крупністю зерен 10 мм.

Отримані результати наведені в таблиці 3.7 – 3.8 дозволяють нам рекомендувати застосування асфальтобетону литого ЛА-15 з максимальною крупністю зерен 15 мм як нижній шар покриття на проїзній частині металевої

транспортної споруди, а асфальтобетон литий ЛА-10 з максимальною крупністю зерен 10 мм – як верхній шар покриття. Рекомендовані товщини покриття з асфальтобетону литого наведені в розділі 4.

3.4 Числове моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевої транспортної споруди

Розв’язання задачі для тривимірної підсистеми виконано в середовищі аналітично-розрахункового комплексу Ansys. Розрахункову схему дії зовнішніх навантажень на покриття металевої транспортної споруди, в даному випадку, приведено у розділі 2 (рис.2.8).

На покриття металевої транспортної споруди (рис. 2.8) діє тиск P від коліс транспортних засобів, що рухаються в три ряди вздовж споруди. Тиск P рівномірно розподілений по п’ятну контакту. Відстань між колесами прийнята 2100 мм. Покриття розглядається при виконанні розрахунків як пружне тіло та статично не визначена конструкція мостового переходу.

У якості змінних факторів, які на нашу думку чинитимуть найбільш суттєвий вплив на зміну напруженого стану покриття (розтягуючі напруження), при інших незмінних умовах, прийнято наступні:

X_1 – товщина покриття h , мм;

X_2 – тиск від транспортних засобів на покриття P , МПа;

X_3 – модуль пружності покриття E , МПа;

X_4 – діаметр п’ятна контакту D , мм.

Рівні змінних факторів та інтервали їх варіювання вибрані на основі аналізу типів покриття, його властивостей, навантажень та п’ятна контакту від транспортних засобів, які приведено в таблиці 3.9.

З урахуванням залежностей (2.32, 2.33) отримано моделі тривимірної підсистеми, що дозволять проаналізувати зміну напруженого стану покриття в характерних точках та в масиві в цілому при зміні значень вхідних параметрів.

Це дасть змогу в кінцевому рахунку визначити раціональну комбінацію значень вхідних параметрів, які забезпечать мінімальні розтягуючі напруження та підвищену довговічність асфальтобетонного покриття.

Таблиця 3.9 – Рівні змінних факторів та інтервали їх варіювання при дослідженні впливу навантажень від транспортних засобів на покриття

Незалежні змінні		Рівні варіювання			Інтервали варіювання Δi
		Верхній +1	Основний 0	Нижній -1	
X1	h , мм	90	80	70	10
X2	P , МПа	1,0	0,9	0,8	0,1
X3	E , МПа	7000	5500	4000	1500
X4	D , мм	360	330	300	30

З урахуванням залежностей (2.32, 2.33), отримано моделі вказаного виду, що дозволять всебічно проаналізувати зміну напруженого стану покриття в характерних точках та в масиві в цілому при зміні значень вхідних параметрів. Це дасть змогу в кінцевому рахунку визначити раціональну комбінацію значень вхідних параметрів, які забезпечать мінімальні розтягуючі напруження та підвищену довговічність асфальтобетонного покриття.

Побудова математичних моделей напруженого стану покриття виду (2.32) можлива лише на основі одержаних даних факторних експериментів, фізичних або числових. Зважаючи на те, що проведення фізичних експериментів є достатньо трудомістким, вартісним та тривалим у часі процесом, то більш раціональним є застосування для вирішення поставлених задач числових (комп'ютерних) експериментів.

Адекватність результатів числових експериментів в обов'язковому порядку має бути підтверджена фізичними експериментами. Вибір раціональних значень вихідних параметрів, що визначають розтягуючі напруження в покритті, може бути забезпечений плануванням експериментів.

Таким чином, з урахуванням залежностей (2.32, 2.33) при визначенні напруженого стану покриття у даному дослідженні мінімальна кількість

числових дослідів повинна складати $2^4 = 16$ для ядра плану [3, 173 – 175]. У разі необхідності до плану додаються 8 зіркових точок.

Побудова на емпіричному рівні [175] математичної моделі типу (3.3), що описує залежність напружень в асфальтобетоні під дією транспорту з урахуванням факторів, які впливають на напружений стан покриття у відповідності з матрицею планування, дозволить знайти величини напружень у характерних точках і вирішити задачі вибору раціональних товщин покриття. План виконання числового експерименту приведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Результати визначення впливу руху транспорту на зміну розтягуючих напружень в верхньому шарі покриття металевої транспортної споруди

Номер дослідів		Фактори								Відгук
		X1		X2		X3		X4		
Вершини гіперкуба (ядро плану 2 ⁴)	1	-1	70	-1	0,8	-1	7000	-1	0,30	4,08
	2	+1	90	-1	0,8	-1	7000	-1	0,30	3,07
	3	-1	70	+1	1,0	-1	7000	-1	0,30	5,11
	4	+1	90	+1	1,0	-1	7000	-1	0,30	3,85
	5	-1	70	-1	0,8	+1	4000	-1	0,30	3,50
	6	+1	90	-1	0,8	+1	4000	-1	0,30	2,70
	7	-1	70	+1	1,0	+1	4000	-1	0,30	4,37
	8	+1	90	+1	1,0	+1	4000	-1	0,30	3,38
	9	-1	70	-1	0,8	-1	7000	+1	0,36	5,01
	10	+1	90	-1	0,8	-1	7000	+1	0,36	3,88
	11	-1	70	+1	1,0	-1	7000	+1	0,36	6,22
	12	+1	90	+1	1,0	-1	7000	+1	0,36	4,79
	13	-1	70	-1	0,8	+1	4000	+1	0,36	4,16
	14	+1	90	-1	0,8	+1	4000	+1	0,36	3,42
	15	-1	70	+1	1,0	+1	4000	+1	0,36	5,50
	16	+1	90	+1	1,0	+1	4000	+1	0,36	4,28
Зіркові точки	17	+1	90	0	0,9	0	5500	0	0,33	3,62
	18	-1	70	0	0,9	0	5500	0	0,33	4,91
	19	0	80	+1	1,0	0	5500	0	0,33	4,63
	20	0	80	-1	0,8	0	5500	0	0,33	3,71
	21	0	80	0	0,9	+1	4000	0	0,33	3,81
	22	0	80	0	0,9	-1	7000	0	0,33	4,51
	23	0	80	0	0,9	0	5500	+1	0,36	4,70
	24	0	80	0	0,9	0	5500	-1	0,30	3,78
Центр плану	25	0	80	0	0,9	0	5500	0	0,33	4,22000
Експе	25	0	80	0	0,9	0	5500	0	0,33	4,03000

Способом визначення коефіцієнтів математичної моделі є метод найменших квадратів, застосування якого обґрунтовано у [176]. Вид моделі визначається наперед, оскільки структура «шуканої» емпіричної функції дійсно

невідома. Підбір класу або типу функцій здійснюється на основі апріорної інформації [177].

Розподіл полів деформації в ортотропній плиті металевої транспортної споруди від дії пневматичних коліс транспортних засобів

Для визначення напружено-деформованого стану покриття транспортної споруди, відповідно до розрахункової схеми (рис. 2.8) та вихідних даних наведених в (табл. 3.10) було виконано дослідження асфальтобетонного покриття методом скінченних елементів, за методологією наведеною в залежностях (2.32 – 2.34), із застосуванням програмного комплексу Ansys.

Типовий приклад розподілу полів деформацій у частині металевої транспортної споруди при транспортному навантаженні наведено на рис. 3.5.

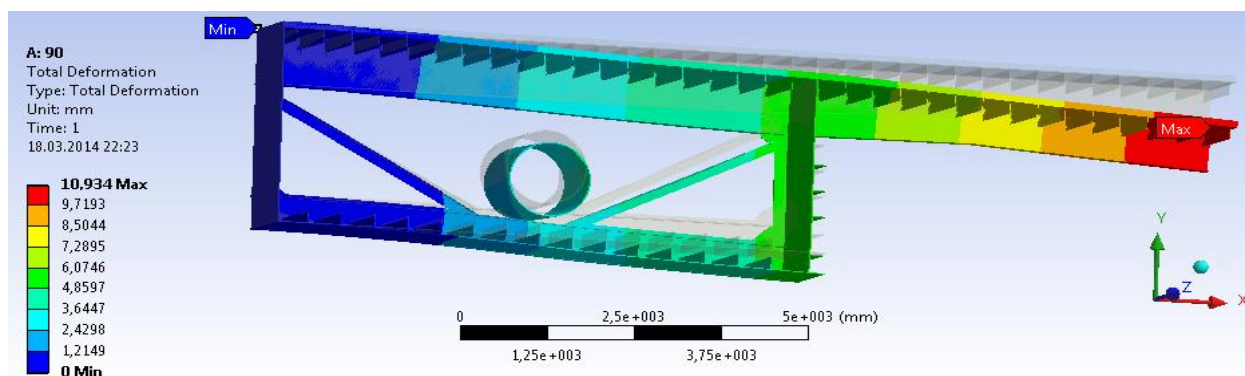


Рисунок 3.5 – Поля повних деформацій металевої транспортної споруди від дії пневматичних коліс транспортних засобів

На основі отриманих результатів можна зробити висновок про те, що максимальні поля деформацій розповсюджуються в консольній частині споруди. Максимальні деформації складають 10,9 мм. Такі результати збігаються з даними, що отримані в результаті експериментальної перевірки деформацій в консольній частині моста від дії транспорту, які складають 10 мм (Додаток В). Різниця не перевищує 9 %, що може свідчити про достатньо високу збіжність результатів отриманих експериментально та на моделі.

На рис. 3.6 наведено результати еквівалентних напружень покриття та металоконструкції, яка відповідно має більш значний напружено-

деформований стан. Еквівалентні напруження в окремих місцях складають близько 80 МПа.

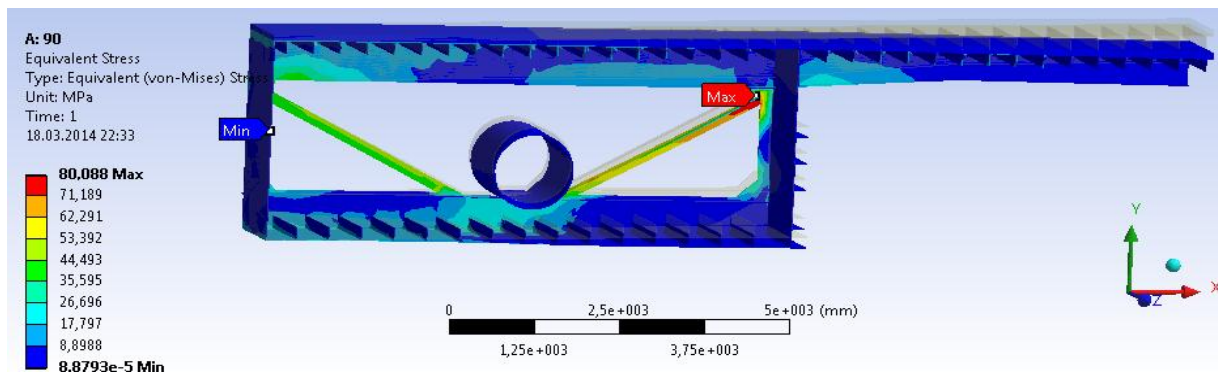


Рисунок 3.6 – Результати розрахунку еквівалентних напружень покриття та металоконструкції

На рис. 3.7 та рис. 3.8 наведено результати визначення нормальних розтягуючих напружень.

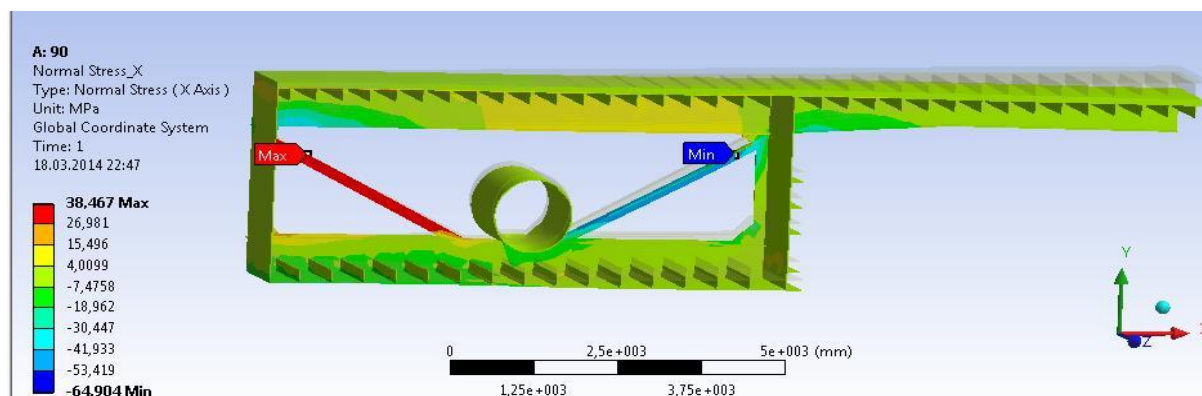


Рисунок 3.7 – Результати розрахунку нормальних розтягуючих напружень по осі X в покритті та металоконструкції

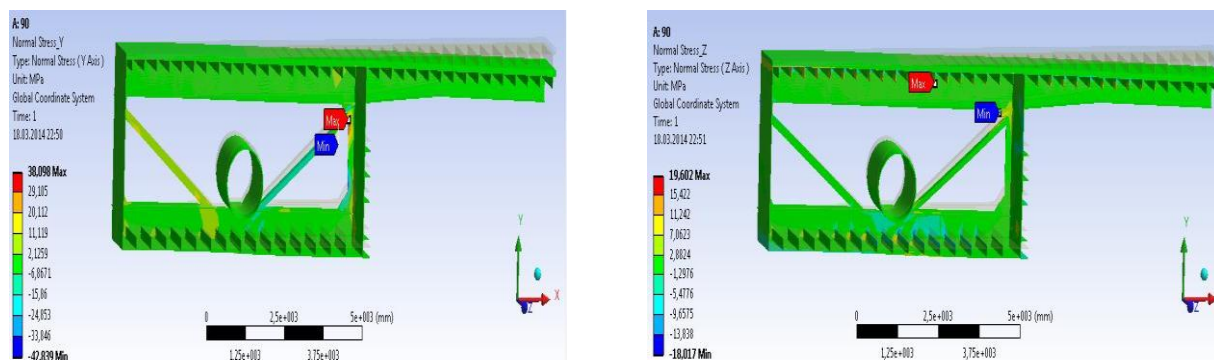


Рисунок 3.8 – Результати розрахунку нормальних розтягуючих напружень по осі Y та Z в покритті та металоконструкції

*Напружено-деформований стан асфальтобетонного покриття
металевої транспортної споруди в зоні контакту транспорту*

Наступним етапом дослідження необхідно було визначити напружений стан в зоні контакту транспорту та покриття металевої транспортної споруди.

Типові результати визначення нормальних розтягуючих напружень, що діють в покритті, яке влаштоване на ортотропній плиті, відповідно до даних розрахункового положення №1 (табл. 3.10) наведено на рис. 3.9.

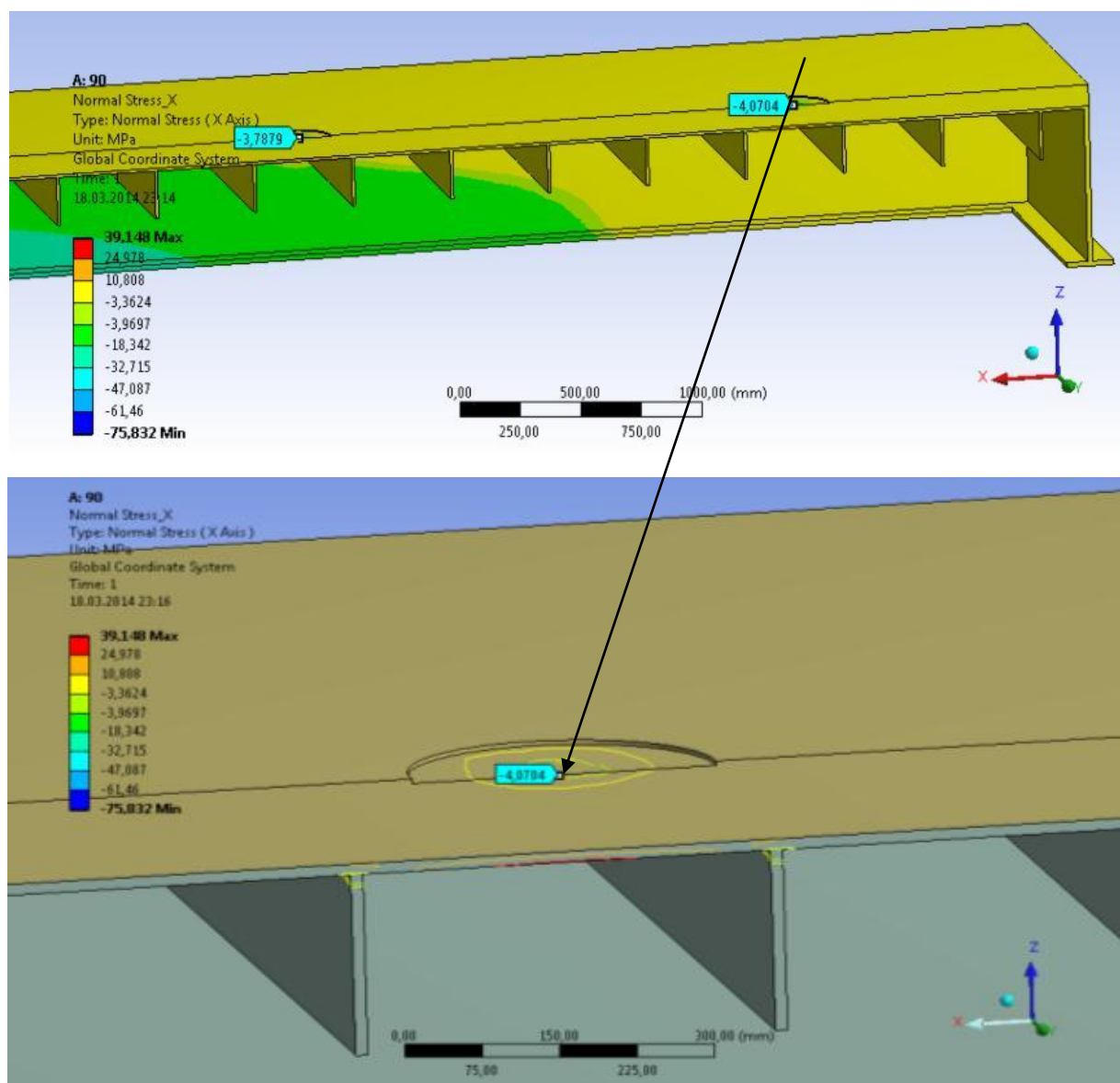


Рис. 3.9 – Результати розрахунку нормальних розтягуючих напружень по осі X в покритті та металоконструкції

Найбільші значення розтягуючих напружень спостерігаються в консольній частині металевої транспортної споруди (для даного випадку 4,07 МПа, при товщині шару покриття 90 мм, тиску 0,8 МПа та модуля пружності матеріалу 7000 МПа), тому надалі будемо розглядати значення самого крайнього п'ятна контакту транспорту з покриттям на крайній правій полосі руху.

Завданням є оцінити, які ж з вище наведених факторів впливають на зміну розтягуючих напружень у покритті в результаті дії на нього транспорту.

За результатами виконаних досліджень (вихідні дані наведені в табл. 3.10) вдалося отримати значення розтягуючих напружень в покритті. Результати розрахунку наведені в табл. 3.10 (колонка Y1).

За отриманими результатами, застосувавши поліноміальну модель для 4-х змінних факторів типу [3], яка була застосована для аналітичного рішення (2.30) розділу 2 було отримано рівняння регресії для визначення зміни розтягуючих напружень в верхніх шарах покриття металевої транспортної споруди, а саме:

$$\sigma_{\text{тр}} = 4,21 - 0,55 \cdot x_1 + 0,48 \cdot x_2 - 0,3 \cdot x_3 + 0,45 \cdot x_4 + 0,056 x_1^2 - 0,039 x_2^2 - 0,049 x_3^2 + 0,031 x_4^2. \quad (3.1)$$

Оскільки отримана математична модель є емпіричною (статистичною), це зумовлює обов'язкове виконання статистичного аналізу її результатів.

Правильна обробка та використання результатів числових експериментальних досліджень можливі тільки у випадку, коли дисперсії в кожній точці досліду однакові (однорідні). Перевірка однорідності дисперсій виконується на основі [177].

Перевірка закону розподілу експериментальних значень в кожній серії повторних дослідів проводилась шляхом порівняння відношень дисперсій кожного планового досліду до сумарної дисперсії експерименту з табличним значенням Кохрена [173, 176, 178 – 181], при перевищенні значення якого

експерименти, результати яких відповідають неоднорідним дисперсіям, повторювались заново, а в іншому випадку гіпотеза про однорідність дисперсій приймалась.

Перевірка дисперсій по критерію Кохрена полягає у наступному: серед визначених оцінок дисперсій знайдено максимальну та визначено відношення найбільшої оцінки дисперсій до суми всіх оцінок дисперсій.

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (3.2)$$

де $S_{\max}^2$ – найбільша оцінка дисперсій експериментів;

$\sum_{i=1}^N S_i^2$ – сума оцінок дисперсій всіх дослідів.

Числа ступенів вільності визначались як $f_1 = n - 1$ та $f_2 = N$, де n – кількість дублів в одній точці експерименту; N – кількість точок плану експериментів.

Величина табличного критерію Кохрена $G_{\text{кр}}$ знаходиться на основі спеціальних таблиць [173], при рівні значимості $\alpha = 0,05$ та прирівнюється до величини G .

Виконання умови $G \leq G_{\text{кр}}$ дозволяє вважати дисперсії однорідними.

Оцінка коефіцієнтів значущості a_0 , a_i , a_{in} , a_{inj} при змінних факторах з урахуванням рівняння (3.1) виконується на основі даних повного факторного експерименту у послідовності [178]:

$$B = Y\Phi^{-1}, \quad (3.3)$$

де $B = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_k \end{bmatrix}$ – вектор-стовпець, що містить коефіцієнти регресії;

$\Phi = F^T F$ – інформаційна матриця Фішера;

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix} \quad - \text{вектор-стовпець, що містить результати експериментів за}$$

матрицею планування (табл. 3.11);

$$F = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,k} \\ 1 & x_{2,1} & \dots & x_{2,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{N,1} & \dots & x_{N,k} \end{bmatrix} \quad - \text{матриця плану або регресійна матриця, що}$$

містить значення факторів $x_{i,j}$ (де i – номер досліду за матрицею планування, j – номер фактора);

k – кількість факторів;

N – кількість дослідів за матрицею планування.

Після обчислення коефіцієнтів регресії, виконується статистична перевірка значущості цих коефіцієнтів і перевірка адекватності отриманих моделей. Статистичний аналіз точності коефіцієнтів значущості має своєю метою виключити з емпіричної формули фактори або їхні взаємодії, що несуттєво впливають на функцію відгуку. Значущість коефіцієнтів перевіряється за допомогою довірчого інтервалу [179]:

$$|a_i| < \Delta = S_\sigma \cdot \sqrt{c_{ii}} \cdot t_{\alpha,t}, \quad (3.4)$$

де S_σ – середньоквадратична похибка функції відгуку;

c_{ii} – діагональний елемент матриці $([X^T] \cdot [X])^{-1}$;

$t_{\alpha,t}$ – критерій Стюдента при заданому рівні значущості α і числі ступенів вільності f дисперсії S_σ^2 . Рівень значущості α при визначенні довірчих

інтервалів для коефіцієнтів математичних моделей у даній роботі згідно рекомендаціям [180] прийнято 0,95.

Для визначення дисперсії відтворюваності напружень у асфальтобетонному покритті в нульовій точці, яка необхідна для оцінки однорідності результатів планових факторних експериментів, скористаємося формулою:

$$S_{\text{відтв}}^2 = \frac{1}{f_3} \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^N (\sigma_i - \bar{\sigma}_i)^2, \quad (3.5)$$

де f_3 – ступінь вільності дисперсії відтворюваності експерименту, $f_3 = N(n - 1)$;

σ_i – напруження в i -й точці плану експерименту;

$\bar{\sigma}_i$ – математичне очікування в i -й точці плану експерименту.

Адекватність математичних моделей перевіряють на підставі критерію Фішера (F -критерій) [181]. У разі, коли гіпотеза про адекватність моделі підтверджується, то відношення $S_{\text{ад}}^2 / S_{\text{відтв}}^2$ менше критичного значення F -критерію, який визначається по стовпцях залежно від вибраного рівня значущості α , числа ступенів вільності f , дисперсії функції відгуку y_i та числа ступенів вільності дисперсії адекватності:

$$f_{\text{ад}} = N - k, \quad (3.6)$$

де k – кількість значущих коефіцієнтів рівняння регресії.

Незміщеною оцінкою дисперсії адекватності $S_{\text{ад}}^2$ є:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\sigma_i - \bar{\sigma}_i)^2}{(N - k)}, \quad (3.7)$$

де $\hat{\sigma}_i$ – значення напруження отриманого в i -й точці плану експериментів.

Число ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_{\text{відтв}}$ визначається числом ступенів вільності дисперсії відтворюваності напружень у покритті.

Перевірку одержаної математичної моделі (3.1) визначення напруженого стану асфальтобетону, на однорідність дисперсій (за критерієм Кохрена), значущості коефіцієнтів регресії (за критерієм Стюдента), адекватності отриманого рівняння (за критерієм Фішера), виконано на основі викладеної методики. Результати зведено до таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Перевірка математичної моделі (3.1) на однорідність дисперсій, значущості коефіцієнтів регресії та адекватності отриманого рівняння

Перевірка однорідності дисперсій (за критерієм Кохрена)	
Сума всіх оцінок дисперсій $S^2_{\text{сум}}$	97,6396209
Максимальне значення виборки дисперсій S^2_{max}	6,01364929
Однорідність дисп. за крит. Кохрена $G_p = S^2_{\text{max}}/S^2_{\text{сум}}$	0,06159
Табл. Крит. Кохрена G_t при $\alpha=0,05$ $f_1=n-1=3$ та $f_2=N=24$	0,27050
Умова однорідності дисперсій $G_p < G_t$	виконується
Перевірка значущості коеф. регресії (за критерієм Стюдента)	
Кількість дослідів матриці експерименту - N	24
Повторність замірів - n	3
Число ступенів вільності дисп. $f_{\text{воспр}}$	48
Табличне значення критерію Стюдента при $\alpha = 0,05$	2,04
Сума воспр. дисперсій (помилка) $S_{\text{воспр}}^2 = S^2_{\text{сум}}/N$	4,06831754
Критерій Стюдента (похиб. Коеф.)	0,16951323
Довірчий інтервал коефіцієнтів регресії Δb	0,83990848
У рівнянні регресії залиш. коеф. для яких виконується умова	$ b_i > \Delta b $
Перевірка адекватності спрощеного рівн. регресії (за крит. Фішера)	
Кількість членів у рівн. регресії, що залишилися після оцінки L	14
Сума оцінок дисперсій скорегованого рівн. регрес. $SS^2_{\text{сум}}$	1,36168427
Дисперсія адекватності $S_{\text{ад}}^2 = (n/N-L)*SS^2_{\text{сум}}$	0,40850528
Критерій Фішера $F_p = S_{\text{ад}}^2 / S_{\text{воспр}}^2$	0,10041136
Число ступенів вільності дисперсії адекватності $f_{\text{ад}} = N - L$	10
Число ступенів вільності $f_o = N(n - 1)$	48
Табличне значення критерія Фішера F_t при $\alpha = 0,05$	2,3
Умова адекватності рівняння регресії $F_p < F_t$	викон.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що отримана математична модель адекватно описує зміну нормальних розтягуючих напружень по осі OX в

верхньому шарі покриття, розташованого на ортотропній плиті Південного мостового переходу.

Аналіз математичної моделі (3.1) дозволяє встановити ступінь впливу вихідних факторів $X_1 \dots X_4$ на зміну значень нормальних розтягуючих напружень по осі ОХ в верхньому шарі покриття.

Порівняння значущості вихідних факторів та їх комбінацій: X_1 – товщина покриття h , мм; X_2 – тиск від транспортних засобів на покриття P , МПа; X_3 – модуль пружності покриття E , МПа; X_4 – діаметр п'ятна контакту D , мм. наведено на рис. 3.10.

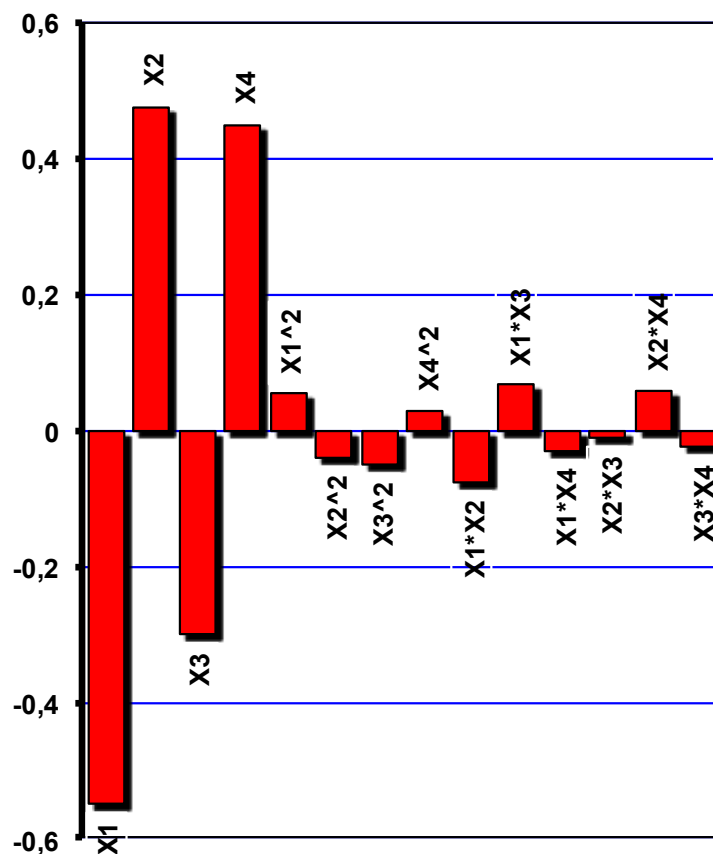


Рисунок 3.10 – Порівняння значущості вихідних факторів та їх комбінацій

Знак «+» чи «-» у рівнянні (3.1) свідчить про збільшення, або зменшення нормальних розтягуючих напружень по осі ОХ в верхньому шарі покриття, розташованого на ортотропній плиті від дії зазначеного фактору.

Аналіз ступеня впливу вихідних факторів $X_1 \dots X_4$ та їх комбінацій на зміну значень нормальних розтягуючих напружень по осі ОХ в верхньому шарі

покриття дозволяє зробити висновки про те, що серйозний вплив чинять: зменшення товщини покриття та модуля пружності покриття, а також зростання тиску від транспортних засобів та діаметру п'ятна контакту.

Нашим завданням передбачено визначити раціональні значення товщини покриття, аби значення нормальних розтягуючих напружень по осі ОХ в верхньому шарі покриття були допустимими та мінімальними.

За результатами виконаних числових досліджень наведено графічні залежності зміни нормальних розтягуючих напружень в покритті при зміні товщини шару h . На рисунку 3.11 побудована залежність нормальних розтягуючих напружень в покритті при зміні товщини шару h , при тиску на покриття 0,8 МПа та діаметрі контакту 300 мм.

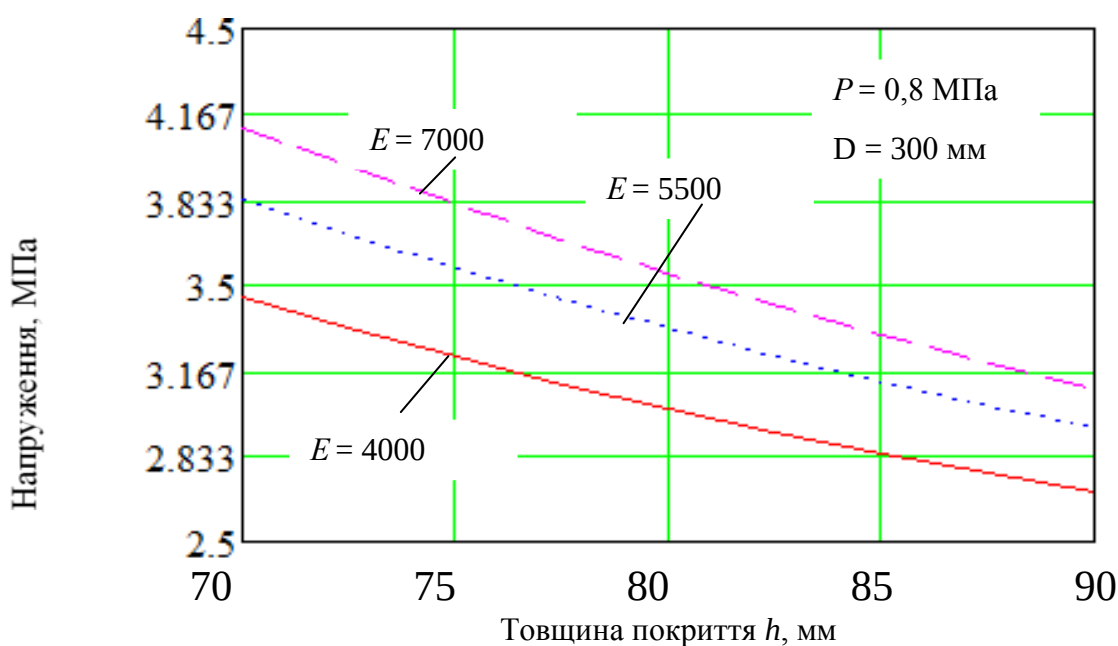


Рисунок 3.11 – Зміна нормальних розтягуючих напружень в покритті при зміні товщини шару h

Аналіз таких залежностей підтверджує прогноз про те, що збільшення товщини шару покриття призводить до зменшення розтягуючих напружень в ньому (рис. 3.12).

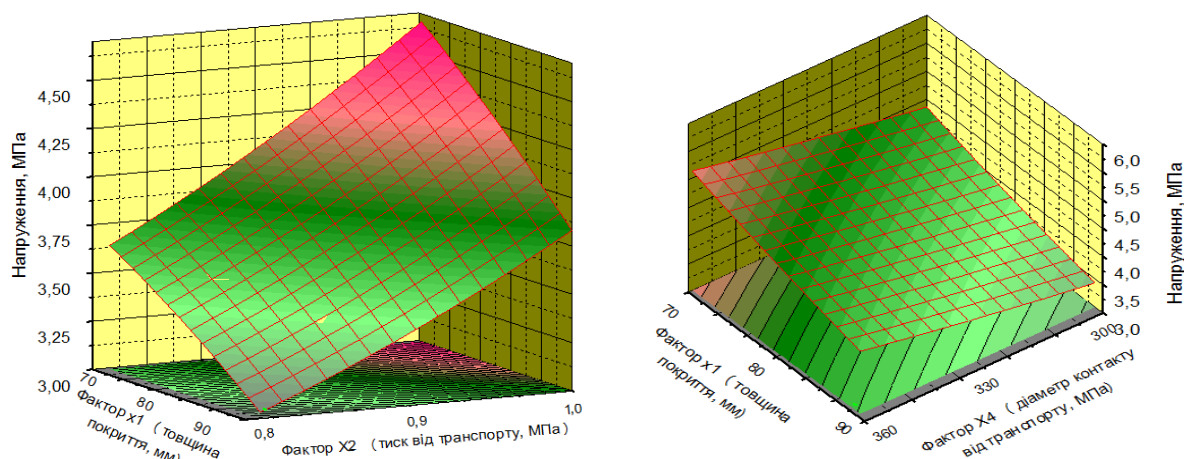


Рисунок 3.12 – Зміна розтягуючих напружень в покритті при зміні товщини шару h від статичного тиску транспортного засобу на поверхню та діаметру штампа

Аналіз залежностей (рис. 3.13) дозволяє зробити висновок про те, що суттєвий вплив може чинити діаметр штампа. З його збільшенням розтягуючі напруження зростають від 3 МПа до 4 МПа і більше, з урахуванням збільшення модуля пружності матеріалу.

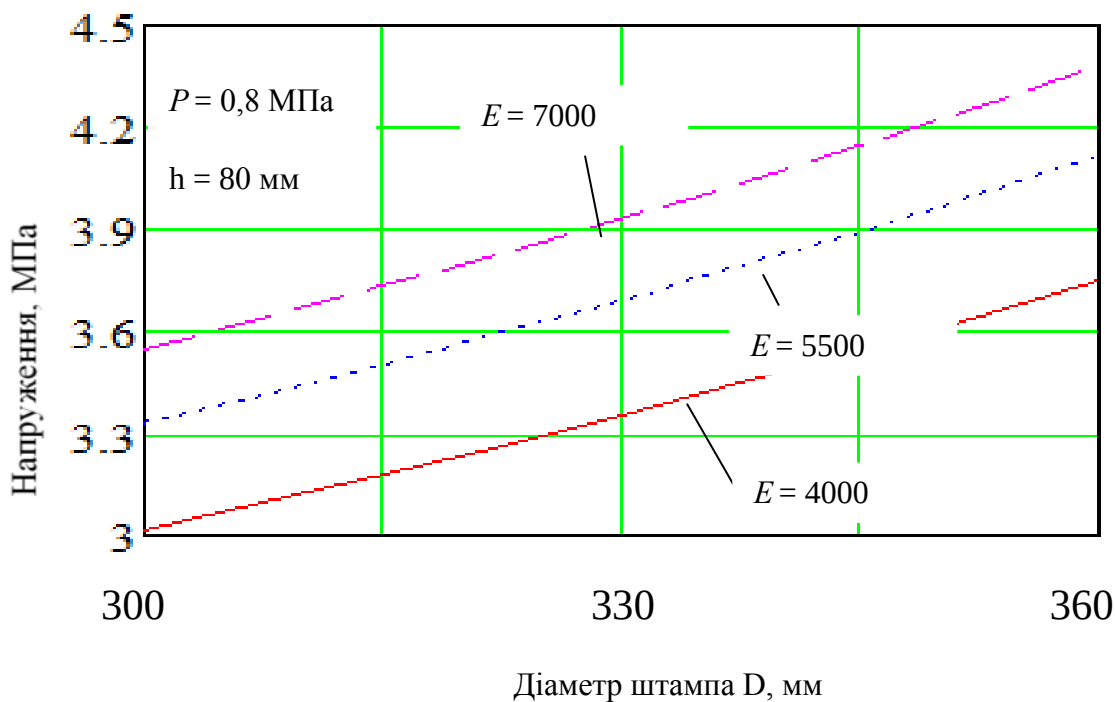


Рисунок 3.13 – Зміна нормальних розтягуючих напружень в покритті при зміні діаметра штампа D

З аналізу окремих факторів від дії транспорту на зміну розтягуючи напружень, встановлено, що найбільш важливим, є проаналізувати одночасний вплив:

X_1 – товщини шару покриття h , мм;

X_4 – діаметра штампу, при середніх значеннях тиску 0,8 МПа та $E = 5500$ МПа. Результати наведені на рисунку 3.12, 3.14.

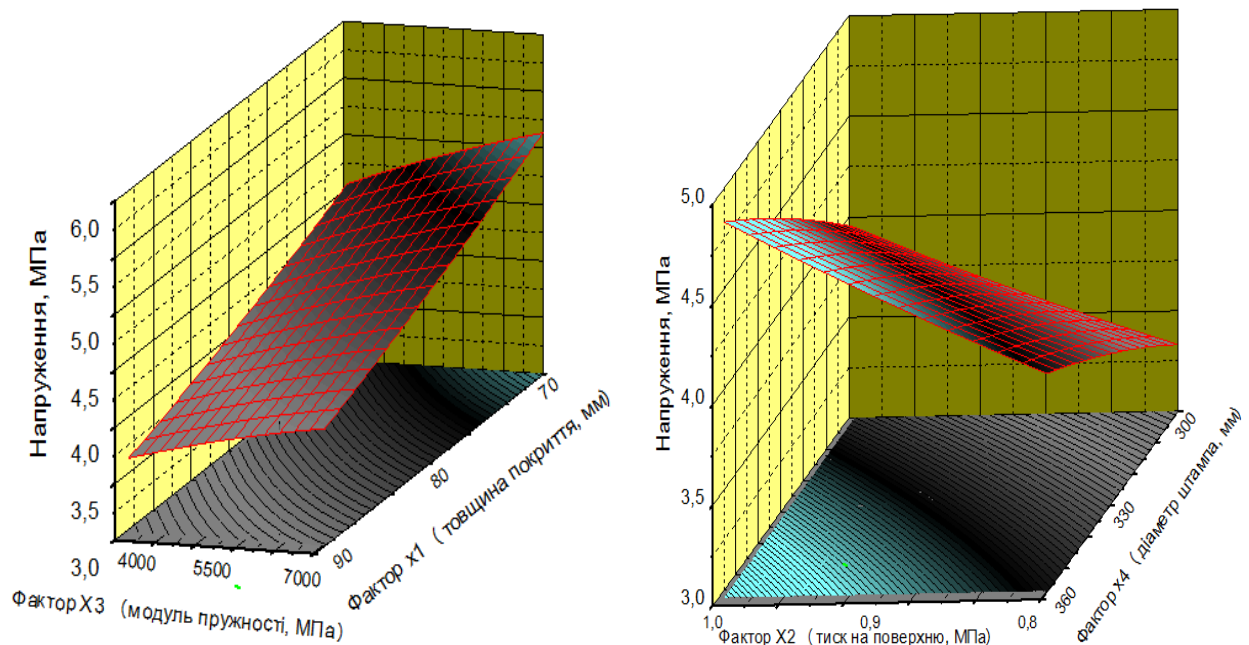


Рисунок 3.14 – Зміна розтягуючих напружень в покритті при зміні товщини покриття від модуля пружності матеріалу та діаметру штампа

Аналіз результатів досліджень дозволяє зробити висновки, що найменші значення розтягуючих напружень в покритті буде спостерігатись при товщині покриття 90 мм та діаметрі штампа 300 мм. При цьому, напруження в покритті не перевищуватимуть 3,7 МПа.

3.5 Перевірка адекватності теоретичних рішень

Вирішення задачі із забезпечення або прогнозування необхідного залишкового ресурсу та прогнозування його зміни в часі, може бути досягнуто при перевірці теоретичних рішень результатами експериментальних досліджень. Надійне застосування отриманих теоретичних рішень можливе лише у випадку однакових результатів, що отримані як за аналітичними рішеннями так і експериментальним шляхом.

З метою оцінки достовірності теоретичних рішень розглядаємо розрахункову схему, за якої асфальтобетонне покриття зчеплене із металевою основою. При цьому, на асфальтобетонне покриття спільно діє навантаження з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів (рис. 2.2 – 2.4). Враховуючи те, що температурні напруження металевої основи суттєво не впливають на збільшення напружень в асфальтобетоні, то в нашому випадку розглядається лише асфальтобетонне покриття. Такий випадок підтверджується в роботі [3, 110].

На етапі перевірки порівнюємо експериментальні та теоретичні дані визначення кількості циклів навантаження до руйнування зразків досліджуваних асфальтобетонів, результати яких наведені в таблицях 3.12 та 3.13.

Теоретично, кількість циклів навантаження до руйнування N_T отримували за залежністю (3.8) із використанням параметрів, що наведені в таблицях 3.12 та 3.13:

$$N_T = B_\tau(T) \cdot \sigma_{TP}^{-b_\tau(T)} \cdot t, \quad (3.8)$$

де σ_{TP} – навантаження на зразок, яке дорівнює $0,1 \cdot R_{32}$ (0,6 МПа);

t – час дії навантаження на зразок, який експериментально встановлений і рівний 0,1 с.

Таблиця 3.13 – Результати співставлення експериментальних та теоретичних даних визначення кількості циклів навантаження до руйнування зразків досліджуваних асфальтобетонів

Шифр асфальтобетону	Кількість циклів до руйнування N , при температурі °C (теоретична)		Кількість циклів до руйнування N , при температурі °C (експериментальна)	Δ , %
	+ 20 °C	0 °C	+ 20 °C	
ЩМА-10 (БНД 60/90 – 6,5%)	2 200	18 536	1 841	16,3
ЩМА-10 (КПБВ «Полігум» – 6,4 %)	92 056	147 173	80 467	12,6
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101– 6,6 %)	25 752	130 015	21 444	16,7
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,7 %)	17 368	78 655	15 696	9,6
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	31 761	115 305	25 440	19,9
ЩМА-15 (БНД 60/90 – 6,5 %)	1 699	14 187	1 392	18,1
ЩМА-15 (КПБВ «Полігум» – 6,3 %)	49 823	111 040	41 441	16,8
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101– 6,4 %)	20 667	94 376	17 232	16,6
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,6 %)	13 868	64 666	12 588	9,2
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,5 %)	18 562	101 101	16 712	10,0
ЩМА-20 (БНД 60/90 – 6,0%)	1 282	11 824	1 051	18,0
ЩМА-20 («ПБВ «Полігум» – 5,9%)	26 352	83 778	22 688	13,9
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101– 6,1 %)	16 586	68 982	13 281	19,9
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,2 %)	11 016	51 954	9 460	14,1
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	13 278	90 085	11 144	16,1

Таблиця 3.14 – Результати співставлення експериментальних та теоретичних даних визначення кількості циклів навантаження до руйнування зразків досліджуваних асфальтобетонів

Шифр асфальтобетону	Кількість циклів до руйнування N , при температурі $^{\circ}\text{C}$ (теоретична)	Кількість циклів до руйнування N , при температурі $^{\circ}\text{C}$ (експериментальна)	Δ , %
	20 $^{\circ}\text{C}$	20 $^{\circ}\text{C}$	
ЛА-10 (БНД 60/90 – 7,9 %)	9 424	10 834	15,0
ЛА-10 (КПБВ «Полігум» – 8,1 %)	170 739	199 424	16,8
ЛА-10 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,2 %)	40 624	45 905	13,0
ЛА-10 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	22 982	25 648	11,6
ЛА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	32 213	39 619	15,8
ЛА-15 (БНД 60/90 – 7,8 %)	17 809	20 516	15,2
ЛА-15 (КПБВ «Полігум» – 8,0 %)	237 821	277 537	16,7
ЛА-15 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,1 %)	114 973	137 278	19,4
ЛА-15 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	78 222	92 928	18,8
ЛА-15 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	84 300	96 944	15,0

Отримані результати свідчать, що теоретичні розрахунки задовільно узгоджуються з експериментальними даними. Розбіжність результатів знаходиться в межах від 9 % до 19 %, при рівні довірчої вірогідності 0,95. Це вказує на можливість практичного застосування подібних залежностей, які отримані та наведені у розділі 2 з метою забезпечення або прогнозування необхідної довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Результати числового аналізу закономірності дії впливових факторів на довговічність асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд з використанням полімерів наведені в Додатку Г.

3.6 Висновки по розділу

За результатами роботи, наведеними в даному розділі можна зробити наступні висновки:

1. Обґрунтовано вибір стандартного та спеціального лабораторного обладнання, а також методики визначення властивостей об'єктів досліджень, що дозволили встановити та отримати параметри модифікації бітуму полімерами та його властивості, стандартні фізико-механічні властивості досліджуваних асфальтобетонів модифікованих полімерами, а також отримати розрахункові та термореологічні характеристики цих асфальтобетонів. Різна кількість полімеру та час приготування модифікованого бітуму, з метою одержання максимального ефекту, визначалися за допомогою лабораторної лопатевої мішалки, методика на приготування бітуму модифікованого полімерами та адгезивами, за допомогою лабораторної лопатевої мішалки знайшла використання при розробці стандарту організації України.

2. За результатами проведених лабораторних випробувань були встановлені різні показники досліджуваних типів асфальтобетонів.

Аналіз результатів свідчить про те, що певний ряд фізико-механічних властивостей досліджуваних асфальтобетонів дещо відрізняються між собою. Наприклад, при визначенні межі міцності на стиск при температурі $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ для асфальтобетону типу ЛА-10 та ЩМА-10, ЩМА-10 має кращі показники межі міцності ніж ЛА-10, а при визначенні показника водонасичення та коефіцієнта водостійкості спостерігається діаметрально протилежна ситуація – ЛА-10 має кращі показники ніж ЩМА-10. Цей факт доводить те, що за стандартними фізико-механічними показниками важко обґрунтовувати рішення стосовно застосування того чи іншого асфальтобетону в якості покриття на металевих транспортних спорудах, а тим більше прогнозувати довговічність та розрахунковий строк служби такого покриття. Тому, в експериментальних дослідженнях крім визначення фізико-механічних властивостей досліджуваних асфальтобетонів, досліджували також їх розрахункові та термореологічні

показники, а саме: коефіцієнт температурної тріщиностійкості, модуль пружності, параметри функції релаксації та параметри функції довговічності при постійному збільшенні навантаження (при температурі 0 °С та +20 °С), циклічну втому (при температурі +20 °С), міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві та накопичення залишкових деформацій у вигляді колії.

3. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що ЦМА-10 на комплексному полімер-бітумному в'язучому більш стійкий до утворення колії у 3,07 рази відповідно до ЦМА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90, а асфальтобетон литий ЛА-10 на комплексному полімер-бітумному в'язучому у 2,53 рази більш стійкий до утворення колії у порівнянні з асфальтобетоном литим ЛА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90. Підтверджена адекватність теоретичних рішень з експериментальними при визначенні кількості циклів навантаження до руйнування зразків-балочок на прикладі асфальтобетонів типу ЛА-10 та ЦМА-10. Розбіжність результатів знаходиться в межах від 9 % до 19 %, при рівні довірчої вірогідності 0,95. Це вказує на можливість практичного застосування подібних залежностей, які отримані та наведені у розділі 2 з метою забезпечення або прогнозування необхідної довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

4. На основі проведених випробувань при натурних дослідженнях фактичних деформацій горизонтального листа ортотропної плити під експлуатаційним навантаженням та методу скінченних елементів, отримані результати числового моделювання розподілу полів деформацій та напружень у вантовій частині ортотропної плити металевої транспортної споруди на прикладі Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНІ РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Методика розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах

Конструювання шарів асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах підвищеної довговічності

1. Проектування асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності на металевих транспортних спорудах, являє собою суцільний процес розрахунку покриття на міцність та морозостійкість з техніко-економічним обґрунтуванням варіантів.

2. Інженерна методика розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах включає в себе:

- визначення кількості конструктивних асфальтобетонних шарів;
- раціональний вибір матеріалів для асфальтобетонних шарів;
- улаштування шарів покриття з визначенням орієнтовних товщин.

3. При розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах необхідно дотримуватися наступних принципів:

- асфальтобетонні шари покриття можуть бути типовими чи розробленими окремо для кожного шару покриття з рівним розрахунковим навантаженням;

- технологія влаштування асфальтобетонних шарів покриття на металевих транспортних спорудах повинна забезпечувати можливість максимальної механізації дорожньо-будівельних процесів та враховувати реальні умови виконання будівельних робіт.

4. При виборі матеріалів для влаштування асфальтобетонних шарів на металевих транспортних спорудах необхідно враховувати наступне:

- верхній і нижній шар покриття повинен відповідати діючим проектним навантаженням та бути водо-, морозо- та термостійкими;
- асфальтобетонне покриття на металевих транспортних спорудах у місцях із зменшенням швидкості руху повинне забезпечувати підвищену зсувостійкість при високих температурах влітку;
- товщину верхнього та нижнього шару покриття на металевих транспортних спорудах необхідно визначати відповідно до розрахунку на міцність згідно (додаток Б);
- мінімальна товщина асфальтобетонних шарів на металевих транспортних спорудах підвищеної довговічності повинна бути 9 см;
- нижній шар асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах необхідно влаштовувати з асфальтобетону, що має підвищену стійкість до циклічних навантажень.

5. Для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах необхідно влаштовувати гідроізоляційний матеріал.

Розрахунок асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності

1. Для забезпечення заданої надійності та необхідної економії, коефіцієнт міцності запроектованого асфальтобетонного покриття за критерієм опору руйнування при міцності від розтягу на згин асфальтобетонного покриття повинен бути не більше ніж на 3 – 10 % відповідно до вимог [115].

2. До розрахунку входить визначення товщини шарів варіантів асфальтобетонного покриття чи раціональний вибір матеріалів з відповідними деформаційними та міцнісними характеристиками при відповідних товщинах запроектованих шарів покриття.

3. Заданий строк служби асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах підвищеної довговічності в кожному випадку повинен бути розрахований індивідуально.

4. Розрахункові значення міцнісних характеристик (міцність на розтяг при згині, міцність на зсув) асфальтобетонних шарів визначають згідно нормативних значень цих характеристик відповідно до залежності (4.1):

$$M_p = \overline{M_p}(1 - v_t t), \quad (4.1)$$

де M_p – розрахункове значення міцнісних характеристик;

$\overline{M_p}$ – нормативне значення міцнісних характеристик;

t – коефіцієнт нормативного відхилення M_p при допустимому відхиленні;

v_t – коефіцієнт варіації.

У якості розрахункових значень деформаційних характеристик (модулів пружностей) шарів асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах приймають їх нормативне значення. Розрахункові характеристики дорожньо-будівельних матеріалів при виконанні розрахунків по критерію опору руйнування при втомі від розтягу при згині асфальтобетонного покриття, визначають з урахуванням відповідного часу дії навантаження від умов руху відповідно до таблиці Б.9 – Б.10 (додаток Б), коефіцієнти наведені в таблицях відповідно до [115].

5. При розрахунку асфальтобетонних покриттів на металевих транспортних спорудах підвищеної довговічності при завантаженості транспортної споруди 0,7, при часу дії навантаження наведені 0,1 с за критерієм опору розтягу при згині, виникають горизонтальні розтягуючі напруження від дії повторних короткочасних навантажень. Для цього повинна бути забезпечена умова (4.2):

$$K_{мц} \leq \frac{R_{зг}^t}{\sigma_r^t}, \quad (4.2)$$

де $K_{мц}$ – коефіцієнт міцності матеріалу з урахуванням надійності матеріалу;

R_{3r}^t – гранично допустиме напруження асфальтобетону, з урахуванням втоми при відповідному часі (t) дії навантаження (0,1 с, 1,0 с, 10,0 с), МПа;

σ_r^t – розрахункове розтягуюче напруження в асфальтобетонному покритті при відповідному часі дії навантаження, МПа, з урахуванням залежності (4.3).

6. Максимальне розтягуюче зусилля в асфальтобетонному шарі покриття визначають за залежністю (4.3):

$$\sigma_r^t = \bar{\sigma}_r^t \cdot p \cdot K_\varepsilon, \quad (4.3)$$

де $\bar{\sigma}_r^t$ – розтягуюче напруження в асфальтобетонному покритті при часі дії навантаження (0,1 с, 1,0 с, 10,0 с), МПа, від короточасного навантаження, при розрахункових відбитках діаметру штампу, визначаємо за номограмою (рис. 4.1);

K_ε – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах під колесом автомобіля зі спареними балонами (0,85);

p – розрахунковий тиск на покриття, МПа.

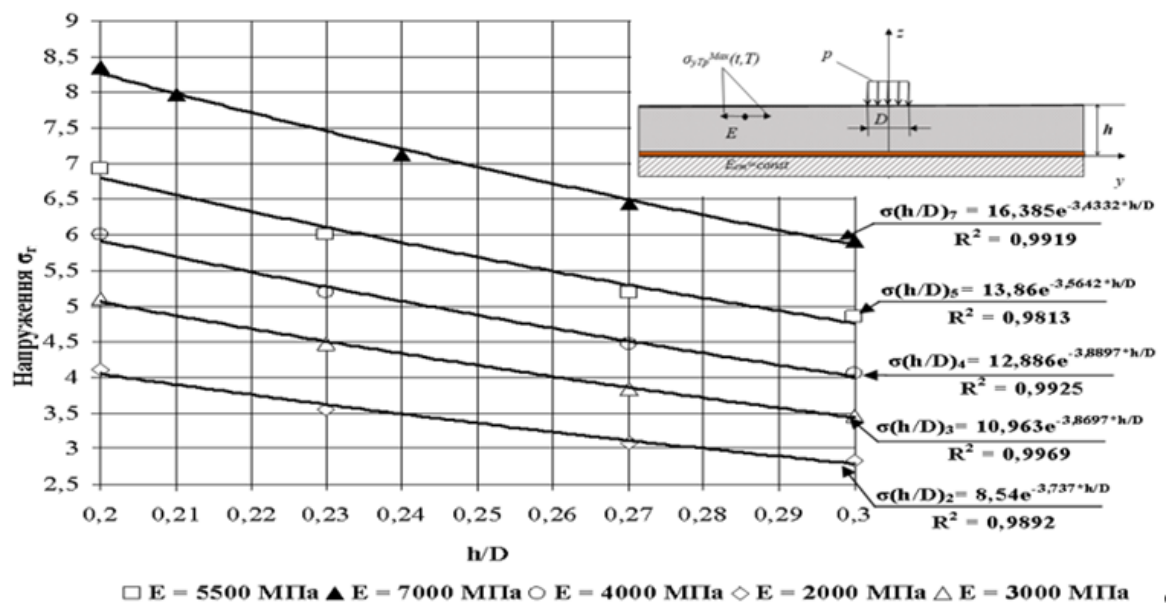


Рисунок 4.1 – Номограма для визначення розтягуючих напружень σ_r при згині в асфальтобетонному покритті металевих транспортних споруд

7. Міцність асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд на розтяг при згині визначають за залежністю (4.4):

$$R_{зг}^t = R_{лаб}^t \cdot k_1^{t \pm t_i} \cdot k_2 \cdot (1 - \nu_R \cdot t), \quad (4.4)$$

де $R_{лаб}^t$ – лабораторне значення границі міцності на розтяг при згині асфальтобетону, в залежності від різного часу дії навантаження, при $t = 0, 1$ с, 1,0 с, 10,0 с, приймаємо відповідно до таблиці Б.9 – Б.10 (Додаток Б), МПа;

k_1 – коефіцієнт, що враховує втрату міцності при впливі різних процесів на втому при багаторазовому часі дії навантаження;

k_2 – коефіцієнт температурної тріщиностійкості матеріалу, приймаємо відповідно до таблиці Б.11 – Б.12 (Додаток Б);

ν_R – коефіцієнт варіації міцності на розтяг при згині;

t – коефіцієнт нормативного відхилення.

t_i – інший час дії навантаження, с.

Коефіцієнт k_1 , що відображає вплив на міцність різних процесів втоми і визначається за залежністю (4.5):

$$k_1^{t \pm t_i} = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p^{t \pm t_i}}}, \quad (4.5)$$

де m – показник ступеня, що залежить від властивостей матеріалу розрахункового шару асфальтобетонного покриття;

$\sum N_p^{t \pm t_i}$ – розрахункова еквівалентна сумарна кількість прикладань розрахункового навантаження, як з часом дії навантаження t так і t_i , протягом всього строку служби, що визначається за залежністю (4.6):

$$\sum N_p^{t \pm t_i} = \delta_{t_i} \cdot \sum N_p \cdot \beta_{t \pm t_i} + (1 - \delta_{t_i}) \cdot \sum N_p, \quad (4.6)$$

де $\sum N_p$ – розрахункова сумарна кількість прикладання розрахункового навантаження за строк служби асфальтобетонного покриття [115];

δ_{t_i} – частка від загальної кількості автомобілів в потоці, які затримуються;
 $\beta_{t \div t_i}$ – коефіцієнт запропоновано проф. В.В. Мозговим, який відображає вплив на втому руйнування розрахункового навантаження з часом дії t_i , визначається за залежністю (4.7):

$$\beta_{t \div t_i} = \left(\frac{R_{\text{лаб}}^t \cdot \sigma_r^{t_i}}{R_{\text{лаб}}^{t_i} \cdot \sigma_r^t} \right)^{-\frac{1}{m}}, \quad (11)$$

де $R_{\text{лаб}}^{t_i}$ – нормативне значення граничного опору розтягу при згині при розрахунковій температурі та при часі дії навантаження t_i , МПа.

Приклад розрахунку:

Розглянемо наступну конструкцію дорожнього одягу на металевій транспортній споруді, розраховану для автомобільної дороги 1 категорії:

1. Щебенево-мастиковий асфальтобетон з максимальною крупністю зерен 10 см, товщиною 4 см.
2. Литий асфальтобетон з максимальною крупністю зерен 15 см, товщиною 5 см.

Згідно з [115] рівень завантаження складатиме не більше 0,7, а тривалість дії навантаження буде рівною 0,1 с. Розрахункова сумарна кількість прикладання розрахункового навантаження за строк служби асфальтобетонного покриття $\sum N_p = 4824135$ один./добу.

За [115] знаходимо коефіцієнт запасу міцності конструкції дорожнього одягу, який в даному випадку становить 1,50.

За даними [115] визначаємо розрахунковий модуль пружності асфальтобетону. Модуль пружності гідроізоляційного матеріалу визначаємо з супровідної інформації постачальника або експериментальним шляхом.

Розраховуємо середній модуль пружності конструкції за залежністю (4.2):

$$E_s = \frac{3800 \cdot 4 + 2400 \cdot 5}{4 + 5} = 2578 \text{ МПа.}$$

Розрахункові значення відбитку колеса та розрахункового навантаження приймаються згідно з [115].

За номограмою, наведеною на рис. 4.1 визначають горизонтальні розтягуючі напруження, при тиску $p=1,0$ МПа, товщині 9,0 см та відбитку діаметру штампу $D=34,5$ см, в даному випадку $\sigma_r=3,45$ МПа.

Розраховують тріщиностійкість асфальтобетонного покриття на транспортній споруді за умовою граничного стану (4.1):

$$\overline{\sigma_r} = 3,45 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 0,3 = 1,178 \approx 0,83 \text{ МПа.}$$

Знаходимо міцність матеріалу шару на розтяг при згині, при відповідному часу дії навантаження:

$$R_N^t = 4,21 \cdot 0,05 \cdot 0,85 \cdot 0,243 = 0,827 \text{ МПа.}$$

Виконуємо перевірку умови опору при руйнуванні від розтягу при згині:

$$0,827 < 0,83.$$

Перевіряємо чи виконується умова по забезпеченню необхідного коефіцієнта запасу міцності:

$$K_{мц} = \frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,827}{0,83} = 1,0.$$

Отримане значення $K_{мц}$ менше за необхідне згідно з [115]. Відповідно представлена конструкція не відповідає умові міцності на розтяг при згині.

Приклад розрахунку 2:

Розглянемо конструкцію дорожнього одягу на металевій транспортній споруді, розраховану для автомобільної дороги 1-ї категорії:

1. Литий асфальтобетон з максимальною крупністю зерен 10 см, товщиною 4 см на комплексному полімер бітумному в'язучому «Полігум».
2. Литий асфальтобетон з максимальною крупністю зерен 15 см, товщиною 5 см на комплексному полімер бітумному в'язучому «Полігум».

Згідно з [115] рівень завантаження складатиме не більше 0,7, а тривалість дії навантаження буде рівною 0,1 с. Розрахункова сумарна кількість прикладання розрахункового навантаження за строк служби асфальтобетонного покриття $\sum N_p = 4824135$ один./добу.

За [115] знаходимо коефіцієнт запасу міцності конструкції дорожнього одягу, який в даному випадку становить 1,50.

За даними [115] визначаємо розрахунковий модуль пружності асфальтобетону. Модуль пружності гідроізоляційного матеріалу визначаємо з супровідної інформації постачальника або експериментальним шляхом.

Розраховуємо середній модуль пружності конструкції за залежністю (4.2):

$$E_e = \frac{4500 \cdot 4 + 3800 \cdot 5}{4 + 5} = 4111 \text{ МПа.}$$

Розрахункові значення відбитку колеса та розрахункового навантаження приймаються згідно з [115].

За номограмою, наведеною на рис. 4.1 визначають горизонтальні розтягуючі напруження, при тиску $p=1,0$ МПа, товщині 9,0 см та відбитку діаметру штампу $D=34,5$ см, в даному випадку $\sigma_r=4,61$ МПа.

Розраховують тріщиностійкість асфальтобетонного покриття на транспортній споруді за умовою граничного стану (4.1):

$$\overline{\sigma_r} = 4,61 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,3 = 1,178 \approx 1,25 \text{ МПа.}$$

Знаходимо міцність матеріалу шару на розтяг при згині, при відповідному часу дії навантаження:

$$R_N^t = 7,15 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,344 = 2,22 \text{ МПа.}$$

Виконуємо перевірку умови опору при руйнуванні від розтягу при згині:

$$1,25 < 2,22 .$$

Перевіряємо чи виконується умова по забезпеченню необхідного коефіцієнта запасу міцності:

$$K_{\text{мц}} = \frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{2,22}{1,25} = 1,77.$$

Отримане значення $K_{\text{мц}}$ більше за необхідне згідно з [115]. Відповідно представлена конструкція відповідає умові міцності на розтяг при згині.

Результати визначення необхідного коефіцієнта запасу міцності показали, що асфальтобетонне покриття на бітумі модифікованому полімером має значно більший коефіцієнт запасу міцності $K_{\text{мц}}$, у порівнянні з асфальтобетонним покриттям на чистому бітумі. Так, при модифікації бітуму 2 % полімеру він підвищився в 1,41 рази, при 4 % полімеру в 1,91 рази, а при 6 % полімеру в 2,76 рази в порівнянні з чистим бітумом.

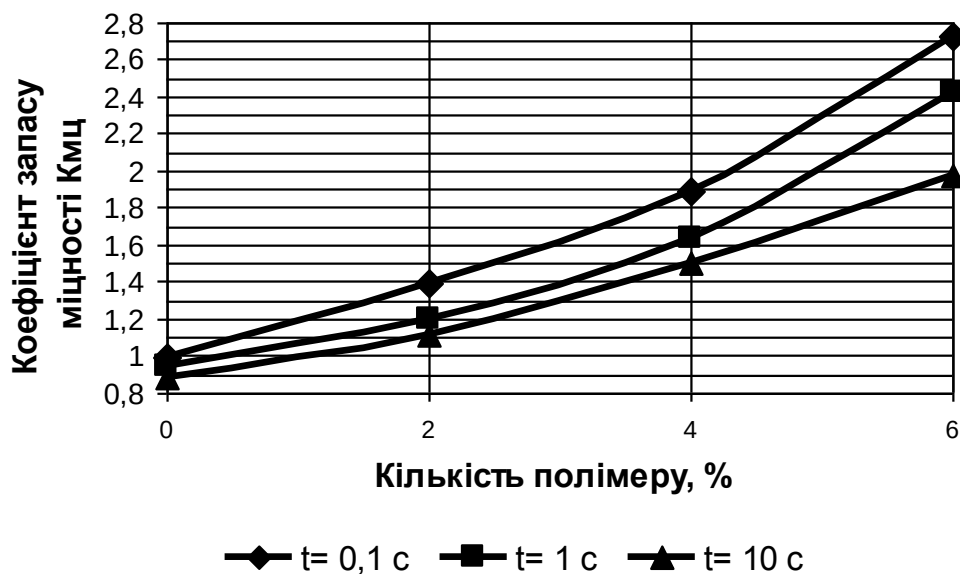


Рисунок 4.2 – Залежність коефіцієнту запасу міцності від кількості полімеру при різному часі дії навантаження

Результати визначення необхідного коефіцієнта запасу міцності показали, що асфальтобетонне покриття на бітумі модифікованому полімером має значно більший коефіцієнта запасу міцності $K_{\text{мц}}$, у порівнянні з асфальтобетонним покриттям на чистому бітумі. Так, при модифікації бітуму 2 % полімеру, він

підвищився в 1,41 рази, при 4 % полімеру в 1,91 рази, а при 6 % полімеру в 2,76 рази, у порівнянні з чистим бітумом.

4.2 Вимоги до асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах

4.2.1 Вимоги до гідроізоляції на металевих транспортних спорудах

Для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд рекомендується застосовувати гідроізоляцію в основі якої використовуються смоли метилметакрилату (далі – ММА).

Для забезпечення зчеплення між ортотропною плитою металеві транспортної споруди та гідроізоляцією, необхідно виконати повне знежирення місць із залишками нафтопродуктів, ацетоном технічним або його замінником.

Повне очищення поверхні водно-лужним розчином, з використанням лужного очисного засобу (витрата засобу 0,07 – 0,08 л/м.кв.), гідроструменевим апаратом високого тиску, з подальшим змивом чистою водою (при необхідності).

Струменеве очищення поверхні до ступеня Sa2,5 згідно з міжнародним стандартом ISO 8501-1; шорсткість поверхні в результаті обробки не повинна перевищувати 75 мкм згідно ISO 8503-1; оцінка якості підготовленої поверхні згідно ISO 8502-1-9.

Знепилювання поверхні сталевих конструкцій до класу 2 відповідно до ISO 8502.

Обов'язкове знепилювання влаштованого шару перед нанесенням наступного шару гідроізоляційної системи.

Пропонується нанесення чотиришарової системи, а саме:

1-й шар – однокомпонентний антикорозійний ґрунт для металу, що висихає за рахунок випаровування розчинника. Наноситься рівномірно по

поверхні пензлем, валиком або безповітряним розпиленням з витратою $0,25 \text{ кг/м}^2$;

2-й шар – гідроізоляція, в основі якої використовуються смоли ММА, що наноситься безповітряним розпиленням з витратою $1,8 \text{ кг/м}^2$;

3-й шар – гідроізоляція, в основі якої використовуються смоли ММА, що наноситься безповітряним розпиленням з витратою $1,8 \text{ кг/м}^2$;

4-й шар – однокомпонентне ММА, що наноситься в холодному стані з витратою $0,1 - 0,2 \text{ кг/м}^2$, яке активізується при високій температурі та може залишатися незахищеним тривалий час перед наступним нанесенням на нього асфальтного покриття, за умови відсутності будь-якого транспортного руху по цьому сполучному покриттю.

Для промивання обладнання використовується розчинник з витратою (7 – 12 %) від загальної кількості матеріалів всієї системи.

Однокомпонентний антикорозійний ґрунт для металу (табл. 4.1), що висихає за рахунок випаровування розчинника, випускається в двох видах: для нанесення розпиленням і нанесення ручним способом. Антикорозійний ґрунт використовується на сталевих, в тому числі оцинкованих, та інших металевих поверхнях.

Таблиця 4.1 – Технічні дані однокомпонентного антикорозійного ґрунту для металу

Показники	Значення
Діапазон температур нанесення	від -10 до +30 °С
Типовий час перекриття шару, хв.	
20 °С	30 хвилин
10 °С	1 година
0 °С	3 години
-10 °С	7,5 годин

Рекомендована витрата матеріалу – $0,25 \text{ кг/м}^2$. При цьому отримаємо товщину сухої плівки 50 мкм. Така витрата матеріалу характерна для гладкої поверхні.

Рекомендується наносити рівномірно по поверхні пензлем, валиком або безповітряним розпиленням (в залежності від прийнятого методу нанесення слід замовляти різновид ґрунту для нанесення розпиленням та нанесення ручним способом). Рекомендовані параметри апарату для нанесення безповітряним розпиленням – співвідношення накачування 23:1; розпилюючі рукава діаметром 8 мм; розмір сопла 0,025 – 0,035. Після нанесення розпиленням рекомендується ретельно прокатати сухим валиком, видаляючи ділянки з надмірною витратою матеріалу.

Нанесення повинно бути один раз і виконуватися в межах трьох годин після абразиво-струменевого очищення поверхні.

Eliminator – гідроізоляційний матеріал, в основі якого використовуються смоли ММА для захисту бетонних і сталевих конструкцій. Матеріал дуже швидко висихає, створюючи міцну еластичну безшовну мембрану. Рекомендовані технічні дані Eliminator наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технічні дані гідроізоляції Eliminator

Показники	Значення
Діапазон температур нанесення	від - 5 до + 30 °C
Межа міцності на розтяг (BS903: A2: 1995; ISO 37: 1994; ASTM D 142)	> 11,8 МПа
Подовження до розриву (BS903, A2: 1995, ISO 37: 1994; ASTM D 142)	> 130 %
Міцність на розрив (BS ISO 34-1:2004)	70 Н/мм
Еластичність при низьких температурах (Тест мандрела MOAT 27: 5.4.2 1983) безстроково при нагріванні до 70 °C протягом 56 днів насичення водою при 23 °C протягом 28 днів	тест витримав при -25 °C тест витримав при -20 °C тест витримав при -25 °C
Межа міцності адгезії при розтягуванні ⁽²⁾ (BS EN ISO 4624:2003) сталь вимоги BD47	> 2,0 МПа > 0,3 МПа
Твердість (по Шору D) (BS 2782; Частина 3 Метод 365B:1992 ISO 868:1985)	56
Опір до абразивного зносу (втрата ваги – грам) (Випробування по Таберу)	0,57

Рекомендовані способи нанесення

Eliminator випускається двох видів:

- Eliminator Spray Grade, який наноситься методом розпилення з метою досягнення товщини сухої плівки покриття не менше 2 мм. Витрата матеріалу може варіюватися залежно від текстури підкладки.
- Eliminator Patch Repair – для нанесення мембрани вручну при ремонті окремих ділянок.

Упаковка та зберігання

Покриття Eliminator 48 кг і 400 кг в комплекті. Мембрана Eliminator складається з двох компонентів смоли (компонент А і компонент Б), розфасованих в металевих відрах або бочках, та одного мішка з порошковим каталізатором, що поставляється в чітко дозований кількості, готовому для приготування суміші за місцем. Усі компоненти повинні зберігатися в сухому, прохолодному місці при температурі не вище 25 °С відповідно до вимог санітарних норм і вимог правил безпеки праці.

При зберіганні продукту в закритих контейнерах і при необхідних умовах, даний матеріал придатний до використання протягом 6-ти місяців. Час висихання мембрани Eliminator Spray Grade, що наноситься методом розпилення (табл. 4.3). Час висихання мембрани Eliminator Patch Repair для ремонту окремих ділянок наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Час висихання мембрани Eliminator Spray Grade

Температура навколишнього середовища, °С	Типова життєздатність	Типовий час висихання	Температура навколишнього середовища, °С	Типова життєздатність	Типовий час висихання
30 (Тропічна версія)	7 хв.	12 хв.	15	8 хв.	20 хв.
20 (Тропічна версія)	10 хв.	15 хв.	10	10 хв.	25 хв.
15 (Тропічна версія)	13 хв.	17 хв.	5	15 хв.	30 хв.
Примітка: всі приведені дані орієнтовні					

Таблиця 4.4 – Час висихання мембрани Eliminator ® Patch Repair

Температура навколишнього середовища, °C	Типова життєздатність	Типовий час висихання	Температура навколишнього середовища, °C	Типова життєздатність	Типовий час висихання
25 (S-літня версія)	11 хв.	30 хв.	10 (W-зимова версія)	12 хв.	45 хв.
20 (S-літня версія)	13 хв.	40 хв.	5 (W-зимова версія)	22 хв.	90 хв.
15 (S-літня версія)	18 хв.	50 хв.	0 (W-зимова версія)	30 хв.	3 години
Примітка: всі приведені дані орієнтовні					

Типова життєздатність компонента В мембрани Eliminator Spray Grade в 24 кг розфасовці з доданим до нього порошковим каталізатором, при температурному інтервалі 10 – 40 °C складає від 16 годин до 80 днів відповідно.

4.2.2 Вимоги до асфальтобетонної суміші на металевих транспортних спорудах

Вимоги до бітумного в'язучого

Для щебенево-мастикової та литої асфальтобетонної суміші рекомендується застосовувати бітуми модифіковані полімерами, які повинні відповідати вимогам [125, 126, 132, 140] та вимогам таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Вимоги до бітуму, модифікованого полімерами

Назва показника	Значення показників БМП
1	2
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури: 25 °C, 0,1 мм, не менше 0 °C, 0,1 мм, не менше	35 – 55 25
Розтяжність: 25 °C, не менше 0 °C, не менше	60 25

Кінець таблиці 4.5

1	2
Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °C	≥ 80
Температура крихкості не вище, °C	-23,0
Еластичність, 25 °C, не менше 0 °C, не менше	80 65
Динамічна в'язкість при 180, °C 160, °C 135, °C	200-400 500-600 ≤ 2100
Температура спалаху, °C	260

Рекомендований вміст в'язучого в сумішах асфальтобетонних щебенево-мастикових, литих і асфальтобетоні литому має відповідати вимогам [131, 151].

Вимоги до крупного заповнювача (щебеню)

Для приготування щебенево-мастикових та литих асфальтобетонних сумішей необхідно використовувати щебінь із щільних гірських порід кубовидної форми зерен, щебінь із металургійних шлаків [127, 131, 144, 151].

Марка щебеню за дробильністю з вивержених та метаморфічних гірських порід повинна бути не менше ніж 1200, із осадових гірських порід, гравію – не менше ніж 1000.

Вміст зерен пластинчатої (лещадної) та голчатої форми у щебені не повинен перевищувати – 15 % за масою. Марка щебеню за стираністю повинна бути не нижче ніж Ст-I, а за морозостійкістю повинна бути не нижче ніж F50 [127, 131, 144, 151].

Вимоги до дрібного заповнювача (піску)

Для приготування сумішей асфальтобетонних щебенево-мастикових та литих необхідно використовувати пісок природний річковий з модулем крупності 1,5 – 2,5 та пісок із відсіву подрібнення щільних гірських порід, який

повинен відповідати вимогам [127, 131, 144, 151]. При цьому, марка за міцністю вихідної гірської породи повинна бути не менше ніж 1000.

Вміст у піску глинистих часток, що визначається методом набухання згідно з ГОСТ 26193, не повинен перевищувати 1,0 % за масою.

Вміст зерен розміром більше ніж 5 мм у відсівах подрібнення гірських порід не повинен перевищувати 5 % за масою. Вміст в них зерен розміром більше ніж 10 мм не допускається.

Вимоги до мінерального порошку

Рекомендується використовувати порошок мінеральний неактивований, в результаті чого знижується пластичність та підвищується зсувостійкість.

Мінеральний порошок неактивований, який використовують для виробництва литих асфальтобетонних сумішей, повинен бути першої марки і відповідати вимогам [141].

Спеціальні добавки

Як спеціальну присадку застосовують систему полімерних модифікаторів до бітуму SS-AD1 та DS-AD1, а також природний асфальт Trinidad Epure Z або його аналоги, які повинні мати сертифікат відповідності згідно з ДСТУ 3498 або декларацію постачальника про відповідність згідно з ДСТУ EN 45014.

Вимоги до зернового складу щебенево-мастикової, литої асфальтобетонної суміші та асфальтобетону щебенево-мастикового та литого

Гранулометричний склад мінеральної частини сумішей асфальтобетонних щебенево-мастикових і литих повинен відповідати вимогам, наведеним у [131, 151] та встановлюватися шляхом лабораторного підбору і випробувань.

Суміш асфальтобетону литого та щебенево-мастикового повинна відповідати вимогам технічних умов [131, 151].

Суміш досліджуваних асфальтобетонів виготовляється з таких компонентів: бітум нафтовий дорожній модифікований полімерами, природний пісок, мінеральний порошок, відсів, щебінь фракції 5-10 і 10-20 мм, на основі гранулометричного складу за результатами попередніх досліджень. Розрахунок литої асфальтобетонної суміші наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Розрахунок литої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалів	Суміш для ЛА-10	Суміш для ЛА-15
	Дозування, %	
Річковий пісок	19,8	16,5
Відсів фр. 0 – 5 мм	17,7	15,5
Щебінь 5 – 10 мм	26,8	24,9
Щебінь 10 – 20 мм		8,7
Мінеральний порошок	27,5	26,9
БМП	8,2	7,5

У суміш ЛА-10 додаються полімерні модифікатори до бітуму DS- AD1 в кількості 6 кг/т.

У суміш ЛА-15 додаються полімерні модифікатори до бітуму SS- AD1 в кількості 6 кг/т.

Температура на виході з асфальто-змішувальної установки при виготовленні становить 210 – 230 °С. Допускається температура суміші до 240 °С у виняткових випадках.

Для укладання литого асфальтобетону на ділянках із значними поперечними або поздовжніми ухилами використовуються спеціальні склади литого асфальтобетону та / або додаткову кількість присадок, а також зміна температури суміші.

Полімербітумна мастика для заповнення швів "Bitumastic Joint" із витратою 0,42 – 0,5 кг/м.п., при товщині 1 см, необхідна температура для укладання 140 – 150 °С.

Для посипання поверхні верхнього шару застосовується чорний щебінь. Використовують щебінь кубовидної форми фракції 5 – 10 (4 – 8) мм. Щебінь

готують на асфальтовому заводі, підігрівають до температури 140 – 150 °С і обробляють 0,5 – 1 % бітумом. Щебінь повинен мати чорний колір і сухий вид, а також містити не більше 10 % за масою фракції менш 5 (4) мм.

Вимоги до сумішей асфальтобетонних литих за фізико-механічними показниками повинні відповідати таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Фізико-механічні властивості асфальтобетону литого

Назва показника	Норма
Пористість мінеральної частини (кістяка), % за об'ємом	22, не більше
Водонасичення, % за об'ємом	1,0, не більше
Температура суміші при виробництві, транспортуванні, укладанні, °С,	210 – 235, не більше
Глибина вдавлювання штампю площею 5 см ² за температури 40 °С після 30 хв. дії навантаження, мм	1–3
Приріст вдавлювання штампю за температури 40 °С, після 30 хв. дії навантаження, мм	0,6, не більше

Щебенево-мастикову суміш виготовляють відповідно до [131]. Приклад запроектованого складу у відповідності з вимогами знайшов практичне впровадження у роботах [3, 108 – 110, 156, 160, 171].

Проектування складу суміші асфальтобетонної литої та щебенево-мастикової виконують будь-яким методом, прийнятим у практиці дорожнього будівництва, за умови одержання асфальтобетону необхідної якості. Однак перевагу слід надавати методу підбору за заданими чи розрахунковими показниками якості.

4.3 Технологічні особливості асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах

Технологічні заходи

Технологічні заходи з регулювання характеристик асфальтобетонного

щебенево-мастикового та литого покриття направлені на підвищення вимог до технологічних операцій з виготовлення, транспортування, укладання асфальтобетонних щебенево-мастикових та литих сумішей при будівництві асфальтобетонних покриттів.

При виконанні робіт із влаштування асфальтобетонних щебенево-мастикових та литих шарів покриття на ортотропній плиті металевої транспортної споруди потрібно виконувати: вхідний контроль вихідних матеріалів; операційний контроль приготування щебенево-мастикових та литих асфальтобетонних сумішей, приймальний контроль готової щебенево-мастикової та литої асфальтобетонної суміші. Температура асфальтобетонної суміші приймається відповідно до вимог [131, 151].

Укладання шарів із щебенево-мастикового та литого асфальтобетону на металевій поверхні ортотропної плити металевої транспортної споруди можна робити тільки на суху, чисту, без пилу поверхню гідроізоляційної мембрани, яка не має пошкоджень по всій площі своєї поверхні.

Необхідне повне знежирення гідроізолюючої мембрани в місцях із залишками нафтопродуктів водним розчином із застосуванням лужних миючих засобів (витрата матеріалів $0,07 - 0,08 \text{ л/м}^2$), під тиском, а також розчинником.

Слід виявити та усунути можливі дефекти і забруднення поверхні гідроізоляційної мембрани: плями нафтопродуктів, бруд та пошкодження шарів гідроізоляції.

При необхідності, пошкодження слід відновити таким чином, щоб у місцях ремонту була відновлена як цілісність мембрани, так і її адгезія до поверхні основи.

Заходи з влаштування поздовжніх, поперечних, технологічних швів і швів примикання

Усі технологічні шви (поздовжні і поперечні), а також шви примикання до конструкційних елементів металевої транспортної споруди влаштовуються в

кожному шарі щебенево-мастикового та литого асфальтобетону (шар вирівнювання, нижній шар, верхній шар) наступним чином:

- прорізання шва фрезою;
- знепилювання шва реактивною машиною;
- прогрівання шва інфрачервоної пальником;
- заповнення шва полімербітумною мастикою «Bitumastic JOINT» з

використанням машини для заливки швів мінімум в два проходи на один шар литого асфальтобетону. Витрата полімербітумної мастики для заливання швів «Bitumastic JOINT» становить 0,42 – 0,5 кг на 1 м.п. шва при висоті шва 1 см.

При укладанні щебенево-мастикової та литої асфальтобетонної суміші до двох або більше захваток по ширині, технологічні шви між захватками в нижньому і верхньому шарах повинні бути зміщені відносно один одного на 15 – 20 см.

Вимоги до погодних умов

Укладання щебенево-мастикових та литих асфальтобетонних сумішей може проводитися при температурах повітря від +5 °С до +30 °С і швидкості бічного вітру не більше 5 м /с, у разі випадання опадів укладання припиняється.

При температурі навколишнього середовища від 0 °С до +5 °С, можливе укладання виключно нижніх шарів, за умови проведення спеціальних заходів: прогрів поверхні об'єкта, а також застосування додаткових зимових присадок відповідно до [142].

Перелік операцій з нанесення водонепроникної мембрани та дорожнього покриття із асфальтобетону щебенево-мастикового та литого на ортотропну плиту металевої транспортної споруди за місцем виконання робіт, вимоги до технологічних прийомів і умовам нанесення, контроль операцій викладені в Додатку Г.

4.4. Конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям підвищеної довговічності, що рекомендуються для металевих транспортних споруд

Конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям підвищеної довговічності розроблені на основі виконаних розрахунків за допомогою встановлених аналітичних залежностей (розділ 2), результатів експериментальних досліджень (розділ 3) та [127, 131, 139, 151]. Товщини асфальтобетонних шарів в конструкції дорожнього одягу уточнюють відповідно до техніко-економічного обґрунтування.

З урахуванням рекомендацій [139], чинних нормативних документів та альбомів типових конструкцій, можна використовувати й інші конструкції дорожнього одягу на металевих транспортних спорудах.

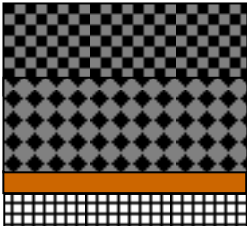
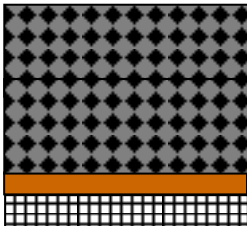
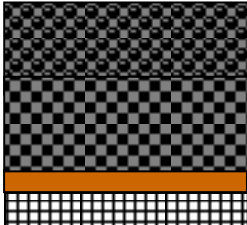
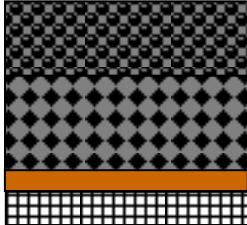
Конструкції дорожнього одягу підвищеної довговічності металевих транспортних споруд на автомобільних дорогах I-ї та II-ї категорій розраховують на навантаження 115 кН, III-ї та IV-ї категорій – 100 кН, V-ї категорії – 60 кН, згідно з [144].

З урахуванням вищезазначеного, представлені конструкції дорожніх одягів підвищеної довговічності для різних категорій доріг (табл. 4.8, 4.9).

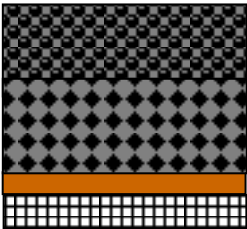
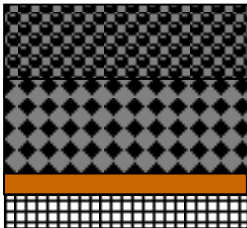
Умовні позначення матеріалів конструктивних шарів наведено нижче:

-  - асфальтобетон литий (тах розмір до 10 мм);
-  - асфальтобетон литий (тах розмір до 15 мм);
-  - щебенево-мастиковий асфальтобетон (тах розмір до 10 мм);
-  - щебенево-мастиковий асфальтобетон (тах розмір до 15 мм);
-  - щебенево-мастиковий асфальтобетон (тах розмір до 20 мм);
-  - чотирьох-компонентний гідроізоляційний матеріал;
-  - ортотропна плита металевої транспортної споруди;

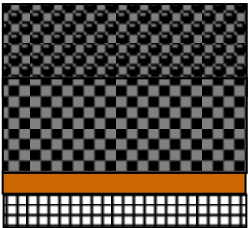
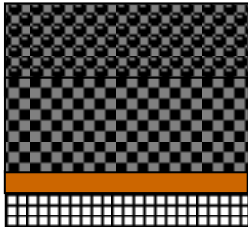
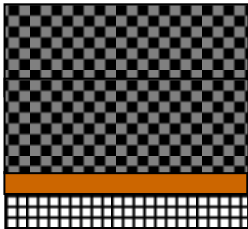
Таблиця 4.8 Рекомендовані конструкції дорожніх одягів підвищеної довговічності в залежності від інтенсивності руху транспортних засобів понад 50 тис. авто/добу

Позначення	Конструкція дорожнього одягу проїзної частини металевих транспортних споруд	Орієнтовна товщина шару, см	Різнovid асфальтобетону
2	3	4	5
1.1		3-4 4-5 0,2-0,3	ЛА-10 ЛАБ-15
1.2		4-5 4-5 0,2-0,3	ЛА-15 ЛА-15
1.3		5-6 3-4 0,2-0,3	ЩМА-20 ЛА-10
1.4		3-4 4-5 0,2-0,3	ЩМА-10 ЛА-15

Кінець таблиці 4.8

1.5		4-5	ЩМА-15
		4-5	ЛА-15
		0,2-0,3	
1.6		5-6	ЩМА-15
		4-5	ЛА-15
		0,2-0,3	

Таблиця 4.9 Рекомендовані конструкції дорожніх одягів в залежності від інтенсивності руху транспортних засобів до 50 тис. авто /добу

Позначення	Конструкція дорожнього одягу проїзної частини металевих транспортних споруд	Орієнтовна товщина шару, см	Різновид асфальтобетону
2	3	4	5
1.1		3-4	ЩМА-10
		3-4	ЛА-10
		0,2-0,3	
1.2		4-5	ЩМА-15
		3-4	ЛА-10
		0,2-0,3	
1.3		3-4	ЛА-10
		3-4	ЛА-10
		0,2-0,3	

4.5 Висновки по розділу

За результатами роботи, наведеними в даному розділі можна зробити наступні висновки:

1. Розроблено методику розрахунку асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності на металевих транспортних спорудах.

2. Розроблені практичні рекомендації щодо підвищення довговічності водонепроникного асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

3. Встановлені вимоги до в'язучих, заповнювачів для приготування асфальтобетонних сумішей та вимоги до властивостей асфальтобетонної суміші та асфальтобетону з метою підвищення довговічності асфальтобетонного покриття.

4. Розроблено варіанти конструкцій дорожнього одягу їздового полотна для виробничого використання при ремонті покриття на металевих транспортних спорудах та наведені методи контролювання властивостей асфальтобетонної суміші та асфальтобетону при їхньому виготовленні, транспортуванні, укладанні та ущільненні.

5. Розроблені заходи з підвищення зчеплення між асфальтобетонними шарами, асфальтобетонним покриттям та основою, заходи щодо ремонту тріщин в асфальтобетонному покритті та здійснено конструювання асфальтобетонного покриття з підвищеної довговічності.

6. Економічна ефективність впровадження результатів наукових досліджень, дозволяє зробити висновок про те, що покращення властивостей асфальтобетону за рахунок використання полімерів дозволяє збільшити в 1,5 – 2,0 рази розрахунковий строк служби таких покриттів та в 1,15 рази зменшити витрати на їх поточні ремонти та експлуатаційне утримання.

ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертаційних досліджень полягає у розвитку теоретичних та практичних положень, а саме: методі розрахунку, який дозволяє проектувати асфальтобетонне покриття на металевих транспортних спорудах підвищеної довговічності.

Наведені у дисертаційній роботі результати дослідження дають змогу зробити такі висновки:

1. З аналізу умов роботи асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах встановлено, що покриття перебуває у складних умовах експлуатації, що з часом призводить до руйнування покриття та гідроізоляції, що в свою чергу негативно впливає на міцність і довговічність несних елементів споруд. Враховуючи те, що проведені раніше дослідження роботи асфальтобетонного покриття на таких спорудах носять розрізнений характер і не враховують спільний вплив температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, постала необхідність в удосконаленні методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

2. Розроблені розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних спорудах та аналітичні залежності для розрахунку горизонтальних напружень, що виникають в асфальтобетонному покритті від коливання сезонних річних і добових температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів, а також обґрунтовано вибір умови довговічності та критерію граничного стану для оцінки тріщиностійкості асфальтобетонного покриття.

3. На основі проведених лабораторних випробувань досліджуваних литого та щебенево-мастикового асфальтобетонів встановлено: оптимальну кількість полімеру та час приготування бітуму модифікованого полімерами;

фізико-механічні властивості; міцність на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження; розрахункові параметри та термореологічні показники (коефіцієнт температурної тріщиностійкості, модуль пружності, параметри функції релаксації та параметри функції довговічності, циклічна втома); міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві.

4. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що ЦМА-10 на комплексному полімер-бітумному в'язучому більш стійкий до утворення колії у 3,07 рази відповідно до ЦМА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90, а асфальтобетон литий ЛА-10 на комплексному полімер-бітумному в'язучому у 2,53 рази більш стійкий до утворення колії у порівнянні з асфальтобетоном литим ЛА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90. Підтверджена адекватність теоретичних рішень з експериментальними даними при визначенні кількості циклів навантаження до руйнування зразків-балочок на прикладі асфальтобетонів типу ЛА-10 та ЦМА-10. Розбіжність результатів знаходиться в межах від 9 % до 19 %, при рівні довірчої вірогідності 0,95.

5. На основі проведених випробувань при натурних дослідженнях фактичних деформацій горизонтального листа ортотропної плити під експлуатаційним навантаженням та методу скінченних елементів, отримані результати числового моделювання розподілу полів деформацій та напружень у ортотропної плити металевої транспортної споруди.

6. За результатами числового аналізу асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд, залежно від товщини та максимального розрахункового навантаження, зроблено висновок про те, що розрахунковий строк служби литого асфальтобетону на комплексному полімер-бітумному в'язучому на прикладі типу ЛА-15 при товщині 7,0 см становить 16 років, при товщині 8,0 см – 18,9 років, а при товщині 9,0 см – 21,4 роки. Це свідчить про те, що розрахунковий строк служби збільшується із збільшенням товщини асфальтобетонного покриття.

7. Розроблено методику розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, яка дозволяє проектувати асфальтобетонне покриття з урахуванням різного часу дії навантаження, різною товщиною покриття, інтенсивності руху, коефіцієнта температурної тріщиностійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування: ДБН В.2.3–22:2009. – [Чинні від 2010–03–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Споруди транспорту. Мости та труби. Сталеві конструкції. Правила проектування: ДБН В.2.3–26:2010. – [Чинні від 2011–10–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 201 с. – (Державні будівельні норми України).
3. Аксьонов С.Ю. Теоретичні та експериментальні дослідження конструкції Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві: монографія // А.М. Онищенко, М.П. Кузьмінець, В.П. Редченко, Д.Й. Тарнопольський, С.Ю. Аксьонов. – К. : НТУ, 2014. – 341 с.
4. Лукин Н.П. Проблемы строительства и эксплуатации автодорожных мостов Украины / Лукин Н.П. // Вестник ХГАДТУ (ХАДИ). – 1995. – № 2. – С. 52–54.
5. Сюньи Г.К. Дорожный асфальтовый бетон / Сюньи Г.К. – К.: Госиздат лит-ры по строит. и архитектуре УССР, 1962. – 234 с.
6. Руденский А.В. Опыт строительства дорожных асфальтобетонных покрытий в различных климатических условиях / Руденский А.В. – М.: Транспорт, 1983. – 65 с.
7. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету : ГОСТ 27751–88 (СТ СЭВ 384–97). – [Дата введения 1988–07–01]. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.
8. Мозговой В.В. Оценка температурной трещиностойкости асфальто- и дегтебетонов в покрытиях автомобильных дорог : дис. Канд. Техн. Наук: 05.22.11 / Мозговой Владимир Васильевич. – К., 1986. – 330 с.
9. Jurgen Hutscherouther. Asphalt im strassenbau / Jurgen Hutscherouther,

- Thomas Worner. – Verlag fur Bauwesen, BERLIN, 1998. – 320 p.
10. Безбабічева О.І. Сучасні конструктивні і технологічні рішення мостового полотна автодорожніх мостів із ефективними варіантами гідроізоляційного захисту / Безбабічева О.І., Бережна К.В., Жданюк К.В. // Вісник ХНАДУ. – 2002. – С.142–144.
 11. Сахарова И.Д. Дорожня одежда на ортотропной плите пролетных строений мостов / Сахарова И.Д. // Труды Росдорнии. НИЦ «Мосты» ОАО ЦНИИС. Совершенствование проектирования мостовых сооружений. – 2002. – № 12. – С. 83–102.
 12. Характерные дефекты и повреждения автодорожных мостов / Бабкин В.И., Горев В.В., Зверев В.В., Путилин В.М. // Труды Союздорнии. – 1998. – № 195. – С. 90–94.
 13. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України : П–Г. 1–218–113:2009 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2010. – 168 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 14. Шейнцвит М.И. Эксплуатация и обеспечение сохранности мостовых сооружений на автомобильных дорогах России // Совершенствование проектирования мостовых сооружений. – М.: «Росдорнии», НИЦ «Мосты», ОАО ЦНИИС – 2002. – № 12 – С. 55 – 65.
 15. Шевченко В.П. О некоторых направлениях продления срока службы мостов // Шевченко В.П., Лозицкий А.С., Безбабічева О.І., Жданюк В.К. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво – 2002. – №64. – С. 263 – 266.
 16. Коваленко С.Н. Проблемы реконструкции автодорожных мостов / С.Н. Коваленко // Автомобильные дороги. – 1983. – № 2. – С. 6–7.
 17. Kolstein M.H. Behaviour of modified bituminous surfacings on orthotropic steel bridge decks / M.H. Kolstein, J.H. Dijkink // 4th eurobitume symposium. – 1989. – P. 908–915.

- 18 Корсунский М.Б. Пути учета факторов времени при расчете дорожных одежд / Корсунский М.Б. // Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и одежды автомобильных дорог. – Ленинград, 1964. – С. 89–96.
19. Question: What do two of the U.S.'s most widely publicized crises – the crumbling transportation infrastructure and the growing solid-waste-disposal problem – have in commun? Answer: asphall // Civ. Eng. (USA). – 1991. – 61. – № 7. – P. 56–59.
20. Messmer W. Entwicklung von Polymer-modifizierten Bindemitteln und Belägen / Messmer W. // Strasse und Verkehr. – 1989. – 75, № 7. – С. 412–414.
21. Bindemitte! fur hochste Anforderungen // Tiefbau. – 2000. – 112, № 12. – 802 p.
22. Битумы для качественных дорог. Für bessere StraBen // Tiefbau. – 2002. – 114, № 12. – 717 p.
23. Modifiziertes Bitumen für den Strassenbau (Bauwirtschaft), 1989. – 223 p.
24. Poirier J.-E. Pour le client seul compte le resultat / Poirier J.-E., Beauverd J. // Rev. gen. routes et aerodr. – 1991. – № 688. – P. 8 – 10, 51 – 54.
25. Dachtler J.D. Quelques aspects de la speciafication des bitumes modifies / Dachtler J.D. // Bituminfo. –1988. – № 55. – P. 3–10.
26. Corte J. F. Laboratoire central des Ponts et Chaussees Recherche dans le domaine des Hants bitumineux / Corte J. F., Such C. // Rev. gen. routes et aerodr. – 1998. – № 761. – P. 64–68.
27. Гохман Л.М. Влияние класса полимеров на свойства полимерно-битумных вяжущих / Гохман Л.М., Давыдова К.И. // Труды Союздорнии. Полимерные материалы в строительстве покрытий автомобильных дорог. – 1981. – С. 5–12.
28. Mersch K. Untersuchung eines fünfundzwanzig Jahre alte Brückenbelages

- aus Gussasphalt (in German) – Bitumen 41 – №1, blz 15 – 18.
29. Arnhem N.N. Verslag van het Bezoek aan het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw / Brussel-Sterrenbeek op 7 en 8 Oktober 1980 (in Dutch) // Stichting Studie Centrum Wegenbouw. – Werkgroep, 1980.
 30. Захаров В.А. Модификация асфальтобетона синтетическими смолами и полимерными отходами / Захаров В.А., Эйзлер П.П. // Труды Союздорнии. Полимерные материалы в строительстве покрытий автомобильных дорог. – 1981. – С. 34–50.
 31. Бутлицкий Ю.В. Применение водорастворимых полимеров при приготовлении асфальтобетонных смесей / Бутлицкий Ю.В., Попандопуло Г.А., Шульженко Л.А. // Труды Союздорнии. Полимерные материалы в строительстве покрытий автомобильных дорог. – 1981. – С. 51–61.
 32. Инструкция по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах : ВСН 4–81. – [Дата введения 1981–03–31]. – М.: Транспорт, 1981. – 32 с.
 33. Інструкція по організації догляду за штучними спорудами : ІН.В.3.2–218–003449261.036–96. – К.: УД ВТП “Укрдортехнологія”, 1996. – 90 с.
 34. Романський І. Теоретичні основи прогнозування зміни стану нежорстких дорожних покриттів / Романський І., Русин Р. // Проблеми теорії і практики будівництва. – 1997. – Т.: Мости, автомабільні шляхи. – Львів: Державний університет “Львівська політехніка”. – С. 106–109.
 35. Шестирков В.И. Деформационные швы в автодорожных мостах / Шестирков В.И. – М.: Транспорт, 1978. – 151 с.
 36. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок : дис. ... докт. техн. наук: 05.22.03 / Радовский Борис Самойлович. – М.,

1983. – 552 с.

37. Иноземцев А.А. Сопротивление упруго-вязких материалов / Иноземцев А.А. – Л.: Стройиздат, 1966. – 168 с.
38. Кривисский А.М. Новые схемы для расчета нежестких дорожных одежд / Кривисский А.М. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 78 с.
39. Батраков О.Т. Учет кратковременных нагрузок при конструировании и расчете нежестких дорожных одежд / Батраков О.Т. // Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и одежды автомобильных дорог. – Ленинград, 1964. – С. 102–106.
40. Жданюк В.К. Дослідження впливу модифікуючих добавок до бітуму на морозостійкість асфальтобетонів / Жданюк В.К., Чугуєнко С.А. // Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг : матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Харків, 2013. – С. 104–108.
41. Мозговий В.В. Залежність термо-в'язко-пружних характеристик асфальтобетону від його складу / Мозговий В. В., Шевчук О.О. // Вісник транспортної академії України та Українського транспортного університету. – 1999. – № 3.
42. Мозговой В.В. Схема расчета покрытий нежестких дорожных одежд на трещиностойкость / Мозговой В.В. // Автомобильные дороги и дорожное строительство. – 1983. – Вып. 32. – С. 19–22.
43. Сюньи Г.К. О расчете асфальтобетонных покрытий на трещиностойкость / Сюньи Г.К., Мозговой В.В. // VII Всесоюзное совещание дорожников : тезисы докладов и сообщений. – М., 1981 – С. 10–11.
44. Золотарев В.А. Закономерности деформирования и разрушения битумов и асфальтобетонов как основа улучшения и регулирования их свойств : дис... докт. техн. наук. : 05.23.05 / Золотарев Виктор

Александрович. – Х., 1982. – 575 с.

45. Мозговой В.В. Повышение температурной морозо- и трещиностойкости асфальтобетона / Мозговой В.В., Кирюхин Г.Н., Бабак О.Г. [и др.] // Автомобильные дороги. – 1991. – № 1.
46. Радовский Б.С. Методические рекомендации по повышению деформативности и морозостойкости асфальтобетонных покрытий при низких температурах (до минус 50° С) / Радовский Б.С., Кирюхин Г.Н., Бабак О.Г. // Тр. Союздорнии. – 1990.
47. Forecasting the formation of reflective cracking in asphalt pavements reinforced with glass fiber mesh Reflective Cracking in Pavements / Radovsky B.S, Mozgovoy V.V, Merzlikin A.E., Gjamelyak I.P. // Design and performance of overlay systems. – Maastricht, 1996.
48. Radovsky B.S.Ukrainian experience of system retarding reflecting cracking Reflective Crack in Pavements / Radovsky B.S., Mozgovoy V.V. // Design and performance of overlay systems. – Maastricht, 1996.
49. Золотарьов В.О. Полімербітумне в'язуче для асфальтобетону / В.О. Золотарьов, Л.В. Столярова, Ю.Ф. Гончаренко // Автошляховик України. – 2000. – № 2. – С. 30–32.
50. Полимерно-битумные вяжущие и асфальтобетоны на основе битумов, модифицированных Элвалоем / Золотарев В.А., Ефремов С.В., Пыриг Я.И. [и др.] // Вестник ХНАДУ. – 2002. – С. 88–93.
51. Применение полимерного вяжущего на основе ДСТ / Радовский Б.С., Мозговой В.В., Гохман Л.М. [и др.] // Автомобильные дороги. – 1989. – № 7.
52. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве / [под общ. ред. Золотарьов В.А.] – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 229 с.
53. Колбановская А.С. Битумоминеральный вяжущий материал / Колбановская А.С., Гохман Л.М. // Автомобильные дороги. – 1971. –

№ 11 – С. 24–25.

54. Гохман Л.М. Выбор оптимального типа дивинилстирольного термоэластопласта для приготовления битумополимерного вяжущего. / Гохман Л.М. // Труды Союздорнии. – 1971. – Вып. 44. – С. 146–159.
55. Кирюхин Г.Н. Повышение сдвигоустойчивости асфальтобетона добавками полимеров / Кирюхин Г.Н., Юмашев В.М. // Автомобильные дороги – 1992. – № 7–8. – С. 12–14.
56. Братчун В.И. Модифицированные асфальтобетоны повышенной сдвигоустойчивости и долговечности / В.И. Братчун, Эль-Хаг Адиль Ибрагим // Автошляховик України. – 1998. – № 2. – С. 51–52.
57. Золотарьов В.О. Досвід виробничого використання асфальтополімербетону / В.О. Золотарьов, С.Ф. Головенчиць, В.К. Жданюк [та ін.] // Автошляховик України. – 1998. – № 4. – С. 41–43.
58. Золотарьов В.О. Полімербітумне в'язуче для асфальтобетону / В.О. Золотарьов, Ю.Ф. Гончаренко // Автошляховик України. – 2000. – № 2. – С. 30–32.
59. Золотарьов В.О. Властивості полімербітумного в'язучого на основі сополімеру EVATAN / В.О. Золотарьов, А.В. Симонов // Автошляховик України. – 2001. – № 3. – С. 32–35.
60. Кириченко Л.Ф. Використання поверхневих активних речовин для покращення зчеплення бітуму з кам'яними матеріалами / Л.Ф. Кириченко, С.В. Кищинський, В.К. Вирожемський // Автошляховик України (спецвипуск). – 2000. – № 3. – С. 62–63.
61. Дослідження з використанням методу акустичної емісії арматурного прокату для конструкцій мостів / Коваль П.М., Демчина Б.Г. Сташук П.М., Баб'як І.П. // Автомобільні дороги і транспортне будівництво. – 2002. – № 64. – С. 106–109.
62. Коваль П.М. Дослідження автодорожного моста з використанням методу акустичної емісії мостів / Коваль П.М., Філоненко С.Ф.,

- Сташук П.М. // Автомобільні дороги і транспортне будівництво. – 2002. – № 64. – С. 114–118.
63. Савенко В.Я. Стабільність структури модифікованого в'язучого та її вплив на довговічність регенерованого асфальтобетону / Савенко В.Я., Безпалый Є.А. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2001. – Вип. 61. – С. 91–96.
 64. Підвищення довговічності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання полімерного модифікатору Бутонал NS 104 / Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С. [та ін.] // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2010. – № 38. – С. 84–87.
 65. Коваленко С.Н. О долговечности автодорожных мостов / С.Н. Коваленко // Автомобильные дороги. – 1984. – № 2. – С. 12–14.
 66. Лившиц Я.Д. Примеры расчета железобетонных мостов / Лившиц Я.Д., Онищенко М.М., Шкуратовский А.А. – К.: Вища школа, 1986. – 263 с.
 67. Виноградский Д.Ю. Эксплуатация и долговечность мостов / Виноградский Д.Ю., Руденко Ю.Д., Шкуратовский А.А. – К.: Будівельник, 1985. – 107 с.
 68. Експлуатація і реконструкція мостів / Н.Є. Страхова., В.О. Голубєв., П.М. Ковальов., В.В. Тодіріка; під ред. А.І. Лантуха-Лященко. – [2-е видання]. – К.: ТАУ, НТУ, 2002. – 408 с.
 69. Васильев А.И. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического срока службы железобетонных мостов / Васильев А.И. // Проблемы нормирования и исследования потребительских свойств мостов. – М.: ЦНИИС. – 2002. – С. 101–120.
 70. Сидяков В.А. Реализация программы ремонта и восстановления мостов / Сидяков В.А., Попов В.И. // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1999. – № 4. – С.22–25.

71. Характерные дефекты и повреждения автодорожных мостов / Бабкин В.И., Горев В.В., Зверев ВВ., Путилин В.М. // Труды Союздорнии. – 1998. – С. 90–94.
72. Лукша Л.К. Проблемы эксплуатации мостов на автомобильных дорогах / Лукша Л.К., Луц С.Н., Пастушенко А.Г. // Проблемы эксплуатации автодорожных мостов : труды Всесоюзной научно-техн. конф. – М, 1990.– С. 40–45.
73. Застосування нових технологій і матеріалів з метою забезпечення довговічності мостових споруд / С.Г. Джигіт, Ю.Л. Родін, Е.М. Гнатюк, Н.А. Кузьміна // Автошляховик України. – 2000. – № 3. – С. 76–77.
74. Васильев А.И. Системный подход к натурным исследованиям эксплуатируемых мостов / Васильев А.И. // Проблемы нормирования и исследования потребительских свойств мостов. – М.: ЦНИИС. – 2002. – С. 70–75.
75. Шахназарова М.А. Взаимодействие однослойного асфальтобетонного покрытия с цементобетонным основанием / М.А. Шахназарова // Опыт строительства асфальтобетонных покрытий: труды МАДИ. – Вып. 23. – Москва, 1958. – С. 206–213.
76. Быстров В.А., Новожилова Н.И. Система управления качеством конструкций эксплуатируемых мостов с учетом их фактической дефектности и нагруженности / Быстров В.А., Новожилова Н.И. // Проблемы развития автомобильно-дорожного комплекса России : труды Междунар. конф. – Санкт-Петербург, 1997. – С. 65–68.
77. Столярова Н.А. Эффективные материалы для ремонта проезжей части мостов / Столярова Н.А., Столяров К.А. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2002. – № 64. – С. 225–228.
78. Безбабічева О.І. Сучасні конструктивні і технологічні рішення мостового полотна автодорожніх мостів із ефективними варіантами

- гідроізоляційного захисту / Безбабічева О.І., Бережна К.В., Жданюк К.В. // Вісник ХНАДУ. – 2002. – С. 142–144.
79. Содержание и ремонт мостов и труб на автомобильных дорогах / Гайдук К.В., Мусатов С.А., Озе С.Э., Поспелов Н.Д. – М.: Транспорт, 1976. – 293 с.
 80. Батракова А.Г. Розрахунки асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетонів : монографія / Батракова А.Г., Ряпухін В.М., Нечитайло Н.О. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 132 с.
 81. Батракова А.Г. Методологія моніторингу дорожніх одягів нежорсткого типу із застосуванням георадіолокаційних технологій : дис... докт. техн. наук: 05.22.11 / Батракова Анжеліка Геннадіївна – Х., 2014. – 397 с.
 82. Гезенцвей Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Гезенцвей Л.Б. – М.: Транспорт, 1985. – 352 с.
 83. Сюньи Г.К. Асфальтовый бетон / Сюньи Г.К. – К.: Государственное издательство технической литературы УССР, 1956. – 204 с.
 84. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу : дис... докт. техн. наук : 05.22.11 / Гамеляк Ігор Павлович. – К., 2005. – 370 с.
 85. Лукин Н.П. Состояние и реконструкция мостов массового строительства по данным обследований и испытаний / Лукин Н.П. // Проблемы развития автомобильно–дорожного комплекса России : труды междунар. Конф. – Санкт-Петербург, 1997. – С. 62–63.
 86. Лукин Н.П. Долговечность железобетонных автодорожных мостов / Лукин Н.П., Лозицкий А.С. // Сборник трудов ЛИСИ. Совершенствование конструкций и методов расчета автодорожных мостов. – Л., 1986. – С. 78–80.
 87. Лучко Й.Й. Основні системи та технології по захисту бетонних та

- залізобетонних конструкцій від корозії і вказівки по їх використанню / Лучко Й.Й., Глагола І.І., Назаревич Б.Л. // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів і конструкцій. – Львів: Каменяр, 2000.– С. 462–475.
88. Лучко Й.Й. Мости: конструкції та надійність / Лучко Й.Й., Коваль П.М., Корнієв М.М., Лантух-Лященко А.І., Хархаліс М.Р. // За редакцією В.В. Панасюка і Й.Й. Лучка. – Львів: Каменяр, 2005.– 989 с.
 89. Опір матеріалів. Книга 1 / [під ред. Піскунова В.Г.]. – К., 1994. – С. 178–184.
 90. Шестериков В.И. Результаты исследований условий движения по мостовым сооружениям / Шестериков В.И., Шестериков А.В. // Труды Росдорнии. НИЦ «Мосты» ОАО ЦНИИС. Совершенствование проектирования мостовых сооружений. – 2002. – № 12. – С. 71–82.
 91. Шестериков В.И. Ремонт конструкций деформационных швов с металлическим окаймлением / Шестериков В.И. // Обзорная информация – 2001. – № 7. – 68 с.
 92. Овчинников И.Г. Особенности конструкции одежды ездового полотна на мостовых сооружениях в современных условиях / Овчинников И.Г., Щербаков А.Г., Сахарова И.Д. // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 10. – С. 86–92.
 92. Корнієв М.М. Сталеві мости: Теоретичний та практичний посібник з проектування. – У двох томах / М.М. Корнієв – К. :Академпрес, 2010. – Т.1. – 532 с.
 93. Снітко В.П. Проектування сталезалізобетонних мостів: навчальний посібник // Снітко В. П. – К. : НТУ, 2005. – 118 с.
 94. Коваль П.М. Характеристика технічного стану існуючих мостів України / П.М. Коваль // Дороги і мости. – 2003. – Вип. 1. – С. 15–22.
 95. Мозговий В.В. Будівельне матеріалознавство в дорожньому

- будівництві / В.В. Мозговий, Ю.М. Дорошенко, А.М. Онищенко, М.П. Кузьмінець, В.В. Смолянець, В.В. Заїченко // Навчальний посібник – К. : НТУ, 2015. – 416 с.
96. Мерзликин А.Е. Армирование асфальтобетонных покрытий при строительстве и реконструкции дорожных одежд / Мерзликин А.Е., Гладков В.Ю., Гамеляк И.П. // Автомобильные дороги. Обзорная информация ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – 1990. – № 5. – 45 с.
 97. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий : дис... докт. техн. наук : 05.22.11 / Мозговой Владимир Васильевич. – К., 1996 – 406 с.
 98. Мозговой В.В. Мероприятия по повышению трещиностойкости асфальтобетонных покрытий на основании из укрепленных материалов / Мозговой В.В. Высоцкая Б.А., Гусев А.В. // Информ. листок №68/147 – 2 с.
 99. Мозговий В.В. Розрахунок напружено–деформованого стану дорожнього одягу за допомогою ЕОМ / Мозговий В.В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1980. – Вип. 26. – С. 9–12.
 100. Ильюшин А.А. Основы математической теории термовязкоупругости / Ильюшин А.А., Победря Б.Е. – М.: Наука, 1970. – 280 с.
 101. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел / Работнов Ю.Н. – М.: Наука, 1977. – 393 с.
 102. Шеппери Р.А. Вязкоупругое поведение композиционных материалов / Шеппери Р.А. // Механика композиционных материалов. – М.: Мир, 1978. – С. 102–195.
 103. Dobson G. R. The viskoelastic properties of asphaltic mixes / Dobson G. R. // Inst. Petroll. (Techn. Pap.). – 1976. – N 4. – 25 p.
 104. Волков М.И. О температурно-временной зависимости прочности асфальтобетона / Волков М.И., Золотарев В.А. // Известия вузов.

Строительство и архитектура. – 1970. – № 3. – С. 144–147.

105. Ладижинський І.С. Підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів за рахунок використання синтетичних сіток : дис... канд. техн. наук: 05.22.11 / Ладижинський І.С. – К., 2005. – 109 с.
106. Іщенко О.М. Розробка методики розрахунку на температурну тріщиностійкість асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг : дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Іщенко О.М. – К., 2003. – 136 с.
107. Смолянець В.В. Удосконалення проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в умовах міст : дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Смолянець В.В. – К., 2005. – 108 с.
108. Онищенко А.М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів : дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Онищенко Артур Миколайович. – К., 2008. – 157 с.
109. Жуков О.О. Проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських вулиць і доріг : дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Жуков О.О. – К., 2011. – 176 с.
110. Невінгловський В.Ф. Метод розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах : дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Невінгловський В.Ф. – К., 2015. – 168 с.
111. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация / Колтунов М.А. – М.: Высшая школа, 1976. – 277 с
112. Москвитин В.В. Соппротивление вязкоупругих материалов / Москвитин В.В. – М.: Наука, 1972. – 327 с.
113. Супрун А.С. Расчет эффективного времени нагружения дорожной одежды / Супрун А.С. // Автомобильные дороги и дорожное строительство. – 1986. – Вып. 39. – С. 25–28.
114. Бесараб О.М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів

- з врахуванням часу дії навантаження : дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Бесараб Олександр Миколайович. – К., 2003. – 142 с.
115. Дорожній одяг нежорсткого типу : ВБН В.2.3–218–186–2004 / Укравтодор. – [Чинний від 2005–01–01]. – К.: Укравтодор, 2005. – 176 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 116. Михович С.И. Оценка прочности дорожных конструкций при воздействии повторных нагрузок с учетом реологических свойств материалов / Михович С.И. // Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и автомобильных дорог. – М.: Стройиздат, 1964. – С. 107–112.
 117. Теляев П.И. К учету длительности действия нагрузки при расчетах дорожных одежд / Теляев П.И. // Материалы всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве. – 1976. – Вып. 8. – С. 14–18.
 118. Золотарев В.А. Исследование вязко–упругого поведения асфальтобетона / Золотарев В.А., Ткачук Ю.П. // Известия высших учебн. заведений. Строительство и архитектура. – 1973. – № 1. – С. 133–137.
 119. Никольский Ю.М. Исследование свойств битумоминеральных материалов при отрицательных температурах для дорожных покрытий в зоне вечной мерзлоты : дис... канд. Техн. наук / Никольский Ю.М. – Омск, 1971. – 171 с.
 120. Дорожный асфальтобетон / [под ред. Л.Б. Гезенцева]. – М.: Транспорт, 1976. – 336 с.
 121. Титарь В.С. Вплив структурних особливостей бітуму на температурні переходи в асфальтобетоні / Титарь В.С., Золотарьов В.О. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1979. – № 25. – С. 59–62.
 122. Киричек И.Ф., Карнаухов В.Г. О термонапряженном состоянии вязко-

- упругих тел с зависящими от неустановившейся температуры свойствами / Киричек И.Ф., Карнаухов В.Г. // Проблемы прочности. – 1977. – № 6. – С. 85–88.
123. Радовский Б.С. Определение напряжений в покрытиях как вязкоупругом слое при колебаниях температуры / Радовский Б.С., Мозговой В.В. // Тр. СоюздорНИИ. Исследования по механике дорожных одежд, 1985.
 124. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа : ВСН 46–83. – [Введен в действие 1984–01–01]. – М.: Минтрансстрой СССР. Транспорт, 1985. – 157 с.
 125. Будівельні матеріали. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7–135:2007. – [Чинний від 2008–02–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 23 с. – (Національний стандарт України).
 126. Будівельні матеріали. Бітуми дорожні модифіковані з використанням лабораторної лопатевої мішалки. Методи контролю процесу модифікації : СОУ 42.1–37641918–100:2013 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2013. – 17 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 127. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7–119–2011. – [2012–10–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 37 с.
 128. Малеванский Г.В. Исследование методов проектирования некоторых типов нежестких дорожных одежд с учетом усталости материалов : автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук / Малеванский Г.В. – К., 1974. – 24 с.
 129. Вольфганг Гарбе. Полимермодифицированные битумы – состав и эксплуатационные характеристики / Вольфганг Гарбе // Автомобильные дороги. – 2008. – № 10. – С. 46–53.

130. Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві: СОУ 45.2–00018112–046:2009 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2009. – 14 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
131. Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево–мастикові. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7–127:2006. – [Чинний від 2007–01–01]. – К.: Мінбуд України, 2007. – 28 с. – (Національний стандарт України).
132. Будівельні матеріали. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон на основі модифікованих полімерами бітумів : СОУ 45.2–00018112–057:2010 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2010. – 21 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
133. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього будівництва. Методи випробувань : ДСТУ Б В.2.7–89–99 (ГОСТ 12801–98). – [Чинний від 2000–01–01]. – К.: Держбуд України, 2000. – 42 с. – (Національний стандарт України).
134. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій : СОУ 45.2–00018112–020:2007 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2008. – 13 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
135. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования : ГОСТ 28840–90.
136. Метод визначення розрахункового опору розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів : СОУ 42.1–37641918–99:2013 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2013. – 8 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
137. Методи визначення розрахункових модулів пружності : СОУ 45.2–00018112–059:2010 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2011. – 20 с. – (Нормативний документ Укравтодору).

138. Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому : СОУ 45.2–00018112–058:2010 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2011. – 14 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
139. Рекомендації з підвищення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на бетонних та залізобетонних основах : Р В.2.3–218–02070915–797:2011/ Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2012. – 14 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
140. Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками адгезійними. Технічні умови : СОУ 45.2–00018112–067:2011 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2011. – 24 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
141. Будівельні матеріали. Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7–121–2003. – [Чинний від 2004–01–01]. – К.: Держбуд України, 2004. – 16 с. – (Національний стандарт України).
142. Влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу при низьких температурах : ГБН В.2.3–218–547:2010 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2011. – 22 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
143. Способи оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії. Методи випробувань : СОУ 45.2–00018112–039: 2008 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2009. – 14 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
144. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Будвництво. Частина ІІ. Проектування : ДБН В.2.3–4:2007. – [Чинні від 2008–03–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с. – (Державні будівельні норми України).
145. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування : ДБН В.2.3–14:2006. – [Чинні від 2007–02–01]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 217 с. – (Державні будівельні норми України).
146. Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між

- асфальтобетонними шарами : СОУ 45.2–00018112–046:2009 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2011. – 11 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
147. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови : ДСТУ 4044–2001. – [Чинний від 2002–01–01]. – К.: Держстандрт України, 2001. – 15 с. – (Національний стандарт України).
 148. Рекомендации по выбору армирующих материалов для повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий к образованию колеи : Р В.2.7–218–02071168–784:2011 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2011. – 36 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 149. Будівельні матеріали. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови : ДСТУ Б В.2–7–129:2006. – [Чинний від 2007–06–01]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 28 с. – (Національний стандарт України).
 150. Споруди транспорту. Мости та труби. Виконання та приймання робіт : ДБН В.2.3–20:2008. – [Чинні від 2008–08–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 102 с. – (Державні будівельні норми України).
 151. Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон литі. Технічні умови : СОУ 42.1–37641918–106:2013. / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2013. – 14 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 152. Асфальтобетони дорожні та аеродромні. Метод визначення показника морозостійкості (Проект) : СОУ 42.1–37641918–XXX:201X / Укравтодор.
 153. Аксенов С.Ю. Опыт применения битумного вяжущего «Polygum» для автомобильных дорог в условиях Украины // Новые дороги России – Саратов – 2011. С. 3 – 10.
 154. Aksenov S. Analysis of modified bitumen difference polymers / Onischenko A., Kuzminets M., Aksenov S. // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Motrol. Commission

- of motorization and energetic in agriculture. – Lublin – Rzeszow – 2014. – № 8. – P. 101 – 106.
155. Аксенов С.Ю. Применение новых полимерных материалов в качестве битумного вяжущего «Полигум» / Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Невингловский В.Ф., Гаркуша Н.В., Аксенов С.Ю., Карабин Я.Р. // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2011 – Вип. 43 – С. 211 – 217.
 156. Аксьонов С. Ю. Дослідження колійності асфальтобетонів різних типів та видів на бітумному в'язучому Полігум / Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 46. – С. 272 – 278.
 157. Аксьонов С. Ю. Технологія виробництва та апробація бітумного в'язучого «Полігум» в умовах України / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В., Резнік Ю. Л., Аксьонов С. Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2012. – Вип. 86. – С. 60 – 65.
 158. Аксьонов С.Ю. Методика приготування та результати випробування бітуму модифікованого полімерами за допомогою лабораторного лопатевого змішувача / Мозговий В.В., Онищенко А.М., Аксьонов С.Ю., Гаркуша М.В., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С.// Вісник Національного транспортного університету. – 2012. – Вип. 26 – С. 79 – 84.
 159. Аксьонов С.Ю. Методика визначення показника втоми монолітних дорожньо-будівельних матеріалів / Мозговий В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2012 – Вип. 43 – С. 201 – 205.
 160. Aksenov S. Quality assurance during asphalt concrete mixture testing to

- determine its grading and bitumen contents / Mozgovyy V.V., Onyshchenko A.M., Baran S.A., Aksenov S. Yu., Kutsman O.M., Olkhovyy B.Yu. // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – 2013. – Вип. 11. – С. 69 – 76.
161. Аксьонов С.Ю. Теоретичні аспекти проектування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу заданої довговічності / Аксьонов С. Ю., Гаркуша М. В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2013. – Вип. 90. – С. 57 – 65.
 162. Аксьонов С.Ю. Використання нових нормативних документів для визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів / Мозговий В.В., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2013. – Вип. 49. – Ч. 1. – С. 245 – 251.
 163. Аксьонов С.Ю. Обґрунтування конструкції дорожнього одягу з асфальтобетону литого Гусасфальт підвищеної тріщиностійкості та колієстійкості для металевої прогонової будови південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві / Онищенко А.М., Кузьмінець М.П., Прикладовський В.С., Різніченко О.С., Аксьонов С.Ю. // Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – 2014 – Вип.45 – С. 396 – 406.
 164. Аксьонов С.Ю. Методика та результати визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості асфальтобетону / Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Аксьонов С.Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2014. – Вип. 91. – С. 84 – 88.
 165. Аксьонов С.Ю. Методика та результати визначення лінійного температурного деформування асфальтобетону / Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Аксьонов С.Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Київ – 2014. – Вип. 92. – С. 56 – 62.

166. Аксенов С.Ю. Методы повышения колеестойкости асфальтобетонного покрытия // Мозговой В.В., Онищенко А.М., Гаркуша Н.В., Аксенов С.Ю. // Автомобильные дороги. Москва – 2012 – № 07 – С. 80 – 85.
167. Aksenov S. Experimental method of determination of rutting firmness of asphalt pavements on bridges // Onischenko A., Aksenov S., Garkusha M., Nevynhlovskyy V., Riznichenko O. // The 8th International conference: Transbaltica 2013. May 9 – 10, 2013, Vilnius, Lithuania – 2013: 148 – 152.
168. Аксенов С.Ю. Методика приготовления и результаты испытания битума модифицированного полимерами с помощью лабораторного лопасного смесителя // Онищенко А.Н., Невингловський В.Ф., Аксенов С.Ю. // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции: «Строительство: проблемы и перспективы». Махачкала – 2013. – С. 112 – 114.
169. Аксенов С.Ю. Экспериментальные исследования Южного мостового перехода через реку Днепр в городе Киев // Аксенов С.Ю., Онищенко А.Н. // Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. Пермь – 2015. – С. 223 – 231.
170. Аксьонов С.Ю. Методика прогнозування деформаційної стійкості асфальтобетонного покриття на мостах // Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Аксьонов С.Ю., Панченко О.О. // Містобудування та територіальне панування. – К.: КНУБА – 2012. – Ч. 3 – № 45 – С. 83 – 87.

171. Аксьонов С.Ю. Заходи з підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів // Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В., Різніченко А.С., Аксьонов С.Ю., Білан О.О. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка – 2013 – № 1 – С. 58 – 65.
172. Аксьонов С.Ю. Методика розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих мостах // Аксьонов С.Ю. // Дороги і мости. Збірник наукових праць. – Київ – 2014. – № 14. – С. 46 – 50.
173. Aksenov S., Method of preparation and test results of bitumen modified with polymers using laboratory blade mixer / Onischenko A., Aksenov S., Nevynhlovskyy V., Garkusha M., Riznichenko O. // Proceeding of the 17th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania” Transport engineering and management, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania. – 2014. –P. 41 – 44.
174. Бродский Б.З. Регрессионный анализ при композиционном планировании второго порядка специального вида // Бродский Б.З. // Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», Информационные материалы. – М.: АН СССР – 1970. – 145 с.
175. Киселев В.Б. Исследование деформированного состояния двухсвязных пологих оболочек на основе методов теории планирования эксперимента // Киселев В.Б. // Сопротивление материалов и теория сооружений. – 1983. – Вып. № 42.
176. Федоров Б.В. Теория оптимального эксперимента // Федоров Б.В. – М. : Наука – 1971. – 214 с.
177. Барабашук В.И. Планирование эксперимента в технике // Барабашук В.И., Креденцер Б.П., Мирошниченко В.И. – К. : Техника – 1984. – 200 с.
178. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных

- условий / Адлер Ю.П., Маркова Е.Б., Грановський Ю.В. – М.: Наука – 1976. – 254 с.
179. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / пер. с нем. под ред. Лецкого Э.К. – М.: Мир – 1977. – 552 с.
 180. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях // Вознесенский В.А. – М.: Финансы и статистика – 1981. – 263 с.
 181. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов // Налимов В.В., Чернова Н.А. – М.: Наука – 1965. – 430 с.
 182. Грушко И.М. Основы научных исследований // Грушко И.М., Сиденко В.М. – 1983. – С. 221.
 183. Шведков Е.Л. Элементарная математическая статистика в экспериментальных задачах материаловедения // Шведков Е.Л. – К.: Наукова думка. – 1975. – С. 112.
 184. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці і залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану : ДСТУ 3587–97. – [Чинний від 1998–01–01]. – К.: Держстандарт України, 1997. – 24 с. – (Національний стандарт України).
 185. Рекомендації з застосування ефективних матеріалів для герметизації тріщин і швів дорожнього покриття : Р В.2.3–218–21476215–687:2007 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2007. – 14 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 186. Рекомендації з обстеження конструкцій існуючих дорожніх одягів автомобільних доріг для обґрунтування проектних рішень : Р А.2.1–218–05416892–675:2007 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2008. – 28 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
 187. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг

- загального користування України : П-Г. 1-218-113:2009 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2010. – 168 с. – (Нормативний документ Укравтодору).
188. Норми фінансових витрат на поточний ремонт та експлуатаційне утримання автомобільних доріг загального користування та мостів на них : СОУ 45.2-00018112-065:2013 / Укравтодор. – Офіц. вид. – К.: Укравтодор, 2011. – 21 с. – (Нормативний документ Укравтодору).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

РЕЗУЛЬТАТИ ОБСТЕЖЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ОРТОТРОПНІЙ ЧАСТИНІ МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД НА ПРИКЛАДІ ПІВДЕННОГО ТА МОСКОВСЬКОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ (М. КИЇВ)

Загальний вид Південного мостового переходу та Московського мостового переходу зображений на рис. А.1, А.2

Схема розташування дефектів в асфальтобетонному покритті на ортотропній частині Південного мостового переходу та Московського мостового переходу наведена на рис. А.3, А.4.

Характерні види дефектів в асфальтобетонному покритті на ортотропній частині Південного мостового переходу та Московського мостового переходу наведені в таблиці А.1, А.2 та А.3.

Умовні позначення дефектів асфальтобетонного покриття

	- Зона автомобільної дороги з наявністю вилущення асфальтобетонного покриття
	- Зона автомобільної дороги з наявністю напливів асфальтобетонного покриття
	- Зона автомобільної дороги з наявністю сітки тріщин асфальтобетонного покриття
	- Тріщина на асфальтобетонному покритті
	- Вибиття асфальтобетонного покриття

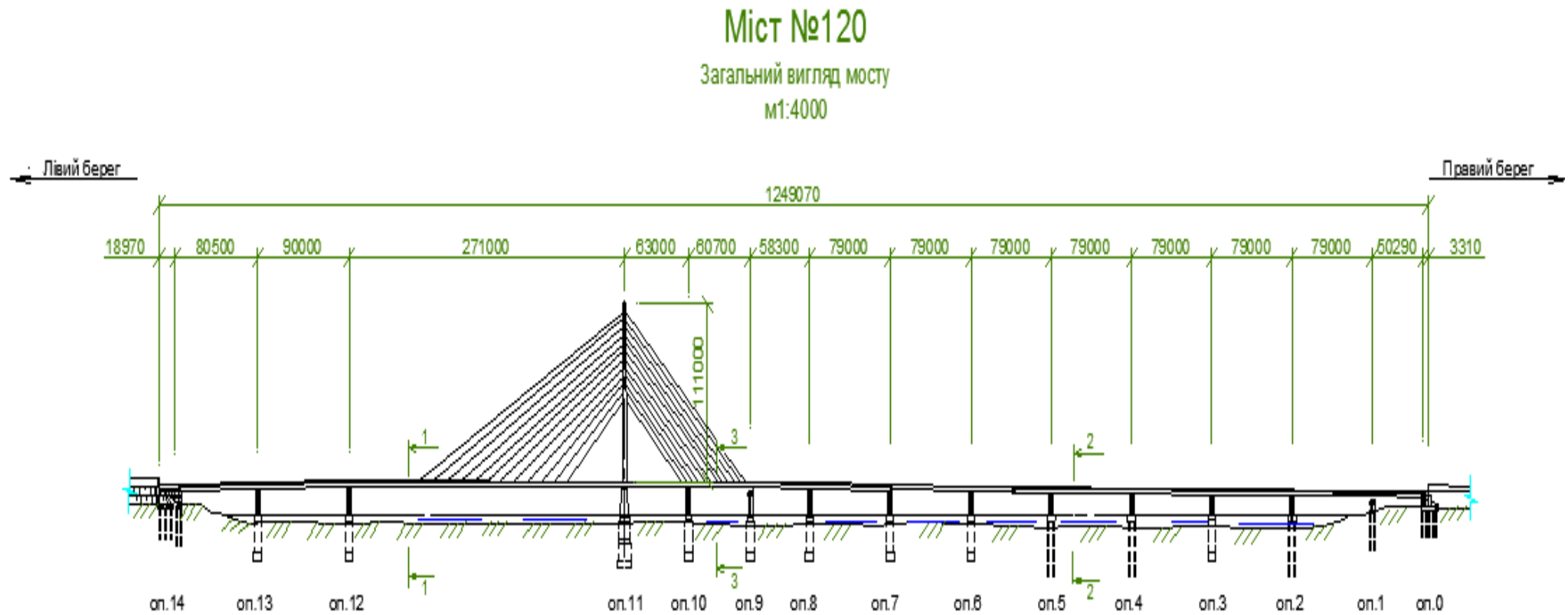


Рисунок А.1 – Загальний вид Південного мостового переходу

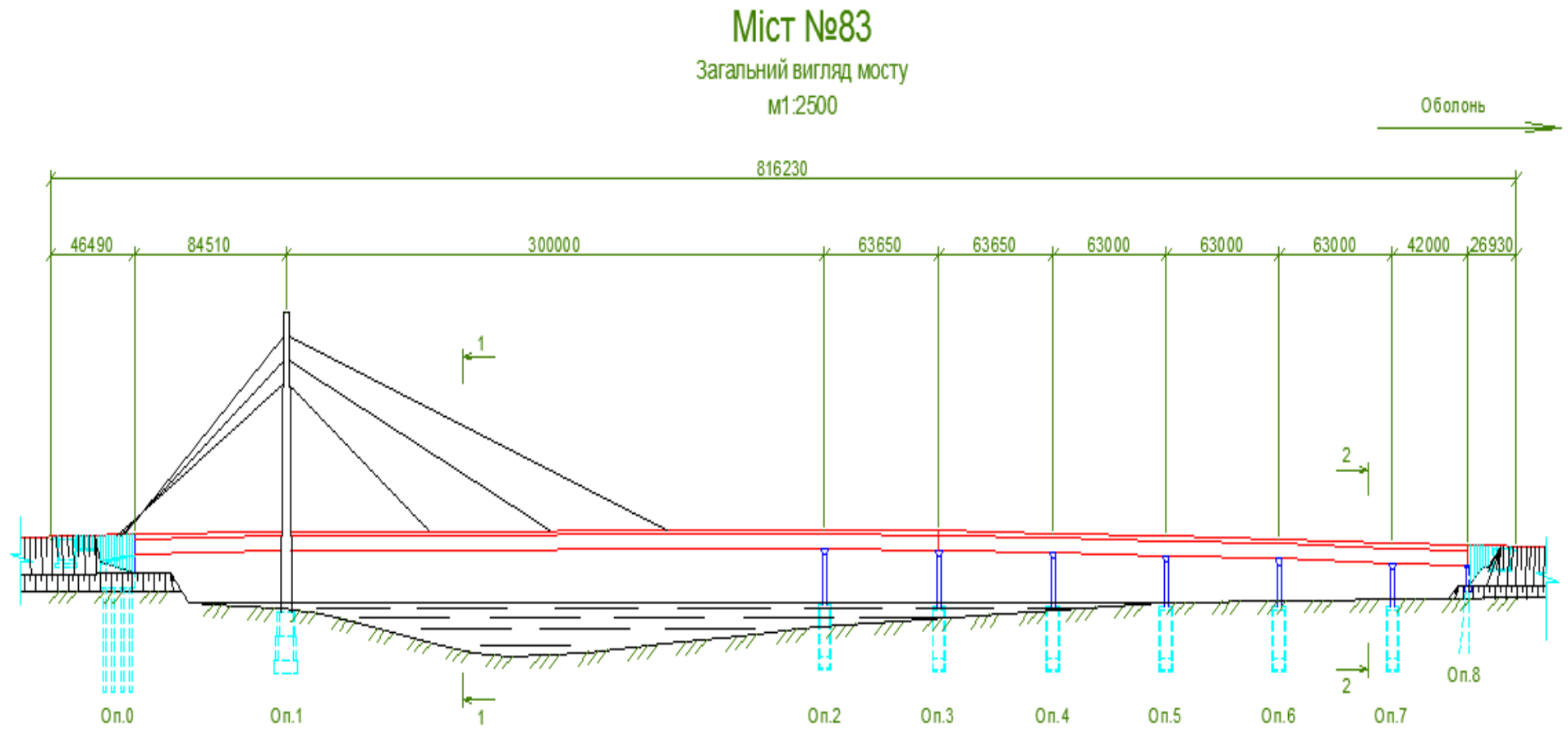


Рисунок А.2 – Загальний вид Московського мостового переходу

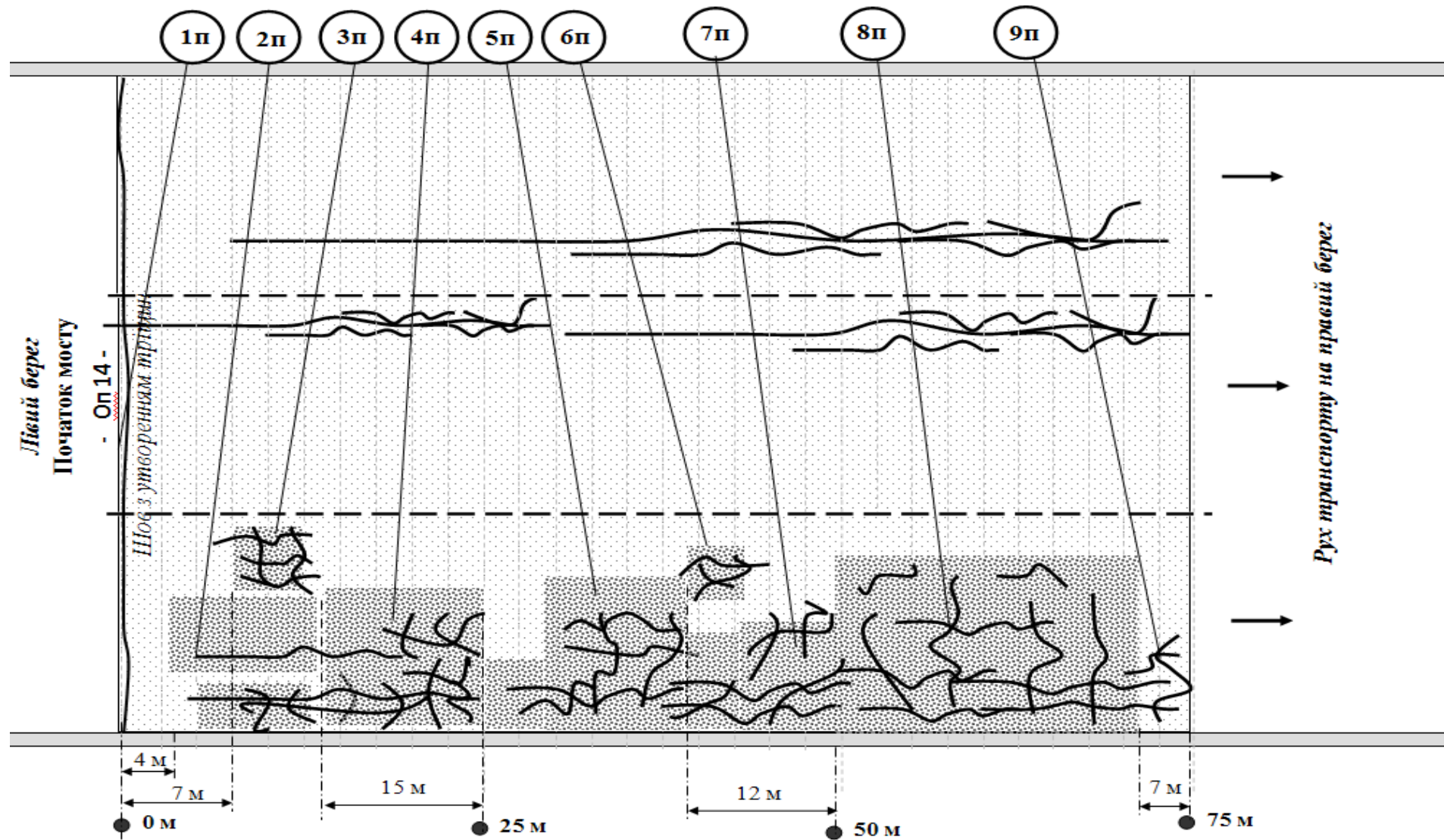


Рисунок А.3 – Схема розташування дефектів в асфальтобетонному покритті на ортотропній частині Південного мосту

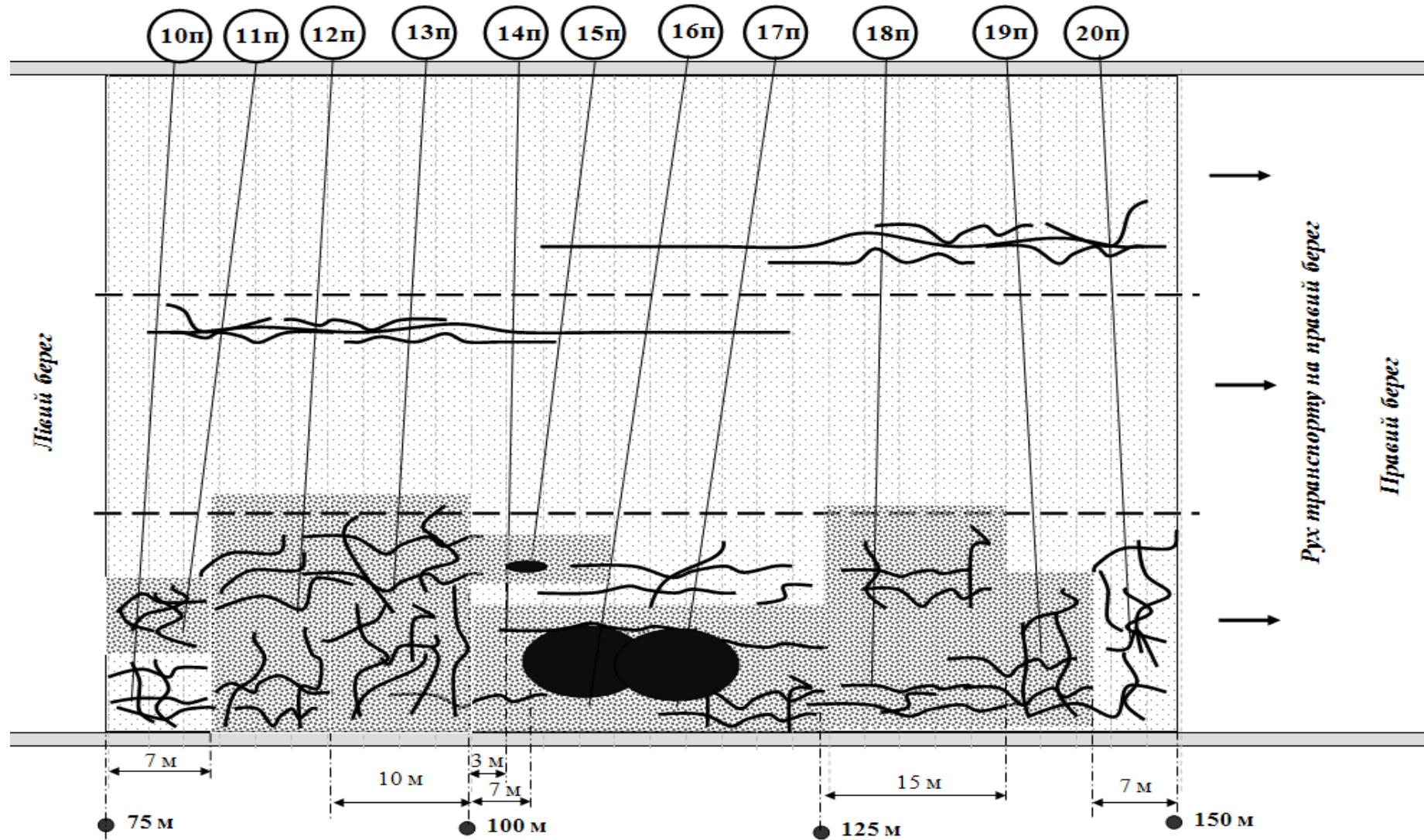


Рисунок А.4 – Схема розташування дефектів в асфальтобетонному покритті на ортотропній частині Південного мосту

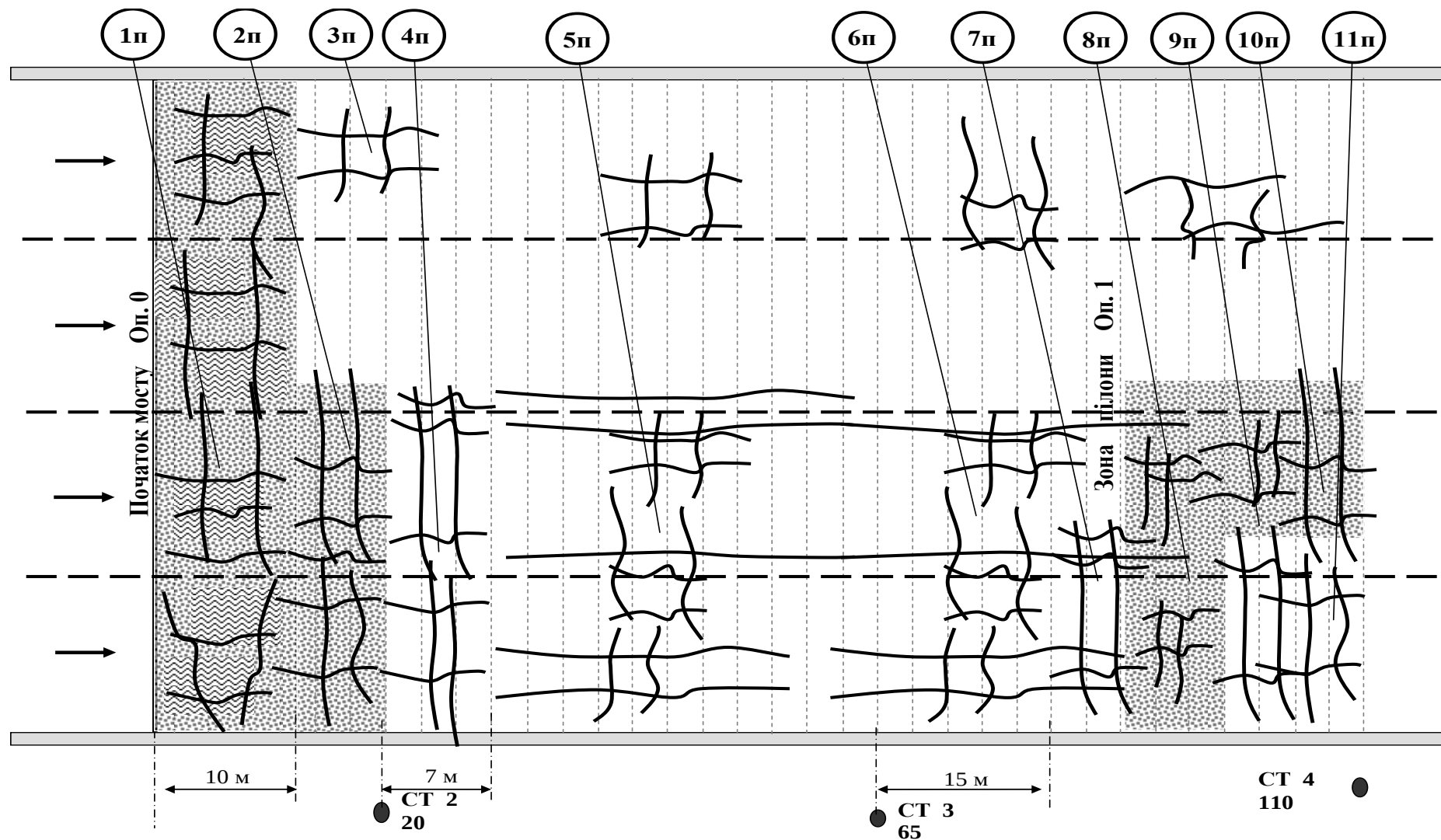


Рисунок А.5 – Схема розташування дефектів в асфальтобетонному покритті на ортотропній частині Московського мосту

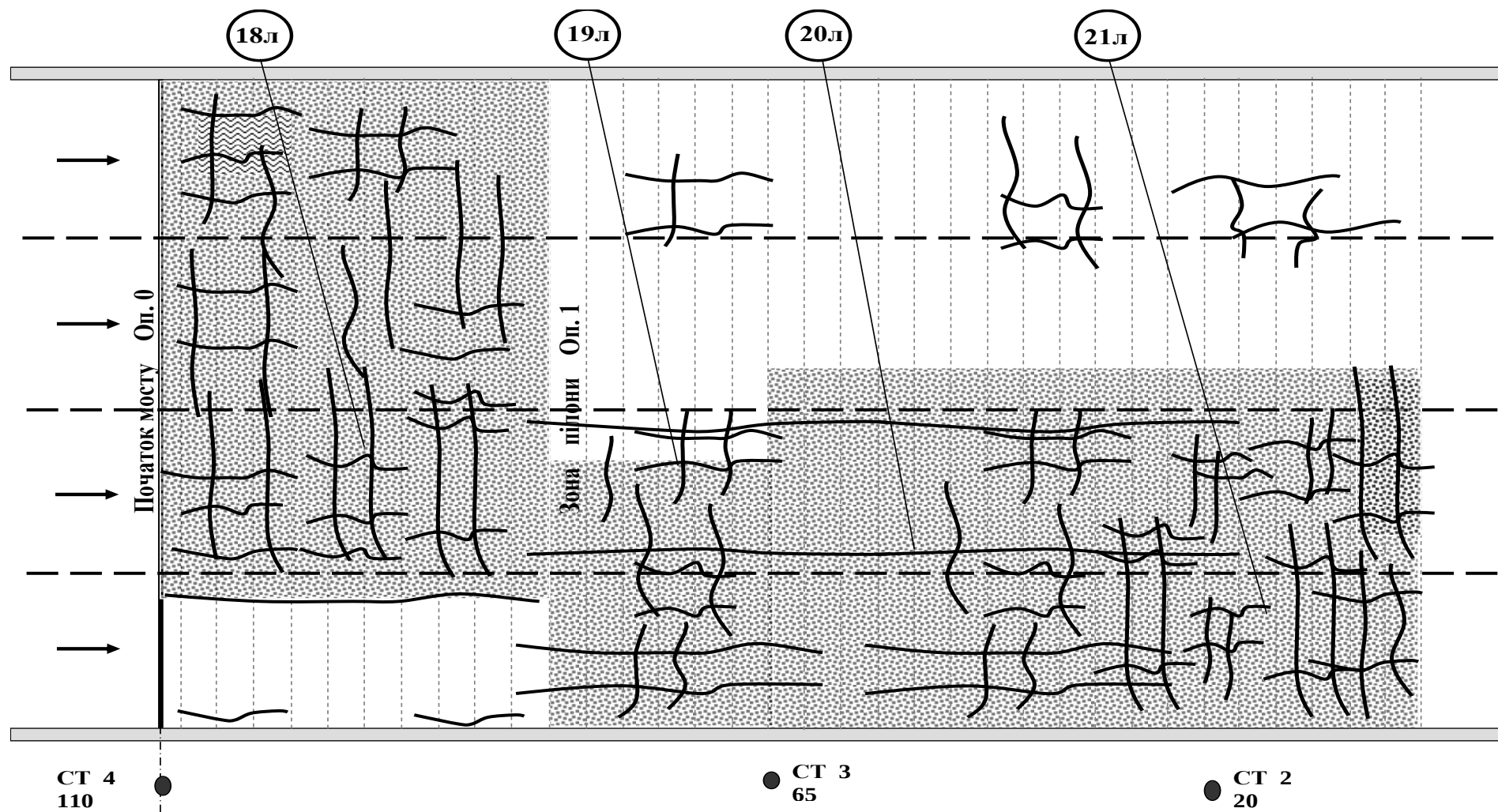


Рисунок А.6 – Схема розташування дефектів в асфальтобетонному покритті на ортотропній частині Московського мосту

Таблиця А.2 – Дефекти асфальтобетонного покриття на ортотропній частині Південного мостового переходу

Місцезнаходження дефекту відповідно схемі А.3	Номер дефекту відповідно схемі А.3	Фото дефекту (рух транспорту з лівого на правий берег через р. Дніпро)	Характерні особливості дефекту покриття проїзної частини
1		2	3
0-25	1п		Поперечна тріщина. Довжина тріщини – через все покриття. Розкриття тріщини 0-6 мм. Присутнє лущення асфальтобетону. Напливи асфальтобетону на деформаційний шов
0-25	2п		Сітка тріщин, напливи, вибоїни. Присутнє лущення асфальтобетону. Поздовжні поперечні тріщини

Місцезнаходження дефекту відповідно схемі А.3	Номер дефекту відповідно схемі А.3	Фото дефекту (рух транспорту з лівого на правий берег через р. Дніпро)	Характерні особливості дефекту покриття проїзної частини
1		2	3
0-25	3п		Сітка тріщин, напливи, вибоїни. Присутнє лущення асфальтобетону. Поздовжні поперечні тріщини
0-25	4п		Поздовжні поперечні тріщини, сітка тріщин, напливи, вибоїни. Присутнє лущення асфальтобетону.

Місцезнаходження дефекту відповідно схемі А.3	Номер дефекту відповідно схемі А.3	Фото дефекту (рух транспорту з лівого на правий берег через р. Дніпро)	Характерні особливості дефекту покриття проїзної частини
1		2	3
100-125	16 п		Вибиття асфальтобетонного покриття. Поздовжні поперечні тріщини
100-125	17 п		Вибиття асфальтобетонного покриття. Поздовжні поперечні тріщини

Таблиця А.3 – Дефекти асфальтобетонного покриття на ортотропній частині Московського мостового переходу

Місцезнаходження дефекту відповідно схемі А.5	Номер дефекту відповідно схемі А.5	Фото дефекту (рух транспорту з лівого на правий берег через р. Дніпро)	Характерні особливості дефекту покриття проїзної частини
1	2	3	4
Опора 0- Опора 1	1п		Поздовжні поперечні тріщини, сітка тріщин, напливи, вилущування, колія
Опора 0- Опора 1	3п		Поздовжні поперечні тріщини, сітка тріщин, колія

Місцезнаходження дефекту відповідно схемі А.5	Номер дефекту відповідно схемі А.5	Фото дефекту (рух транспорту з лівого на правий берег через р. Дніпро)	Характерні особливості дефекту покриття проїзної частини
1	2	3	4
Опора 0- Опора 1	4п		Поздовжні поперечні тріщини, сітка тріщин, напливи, колія
Опора 1- Опора 2	7п		Поздовжні поперечні тріщини, сітка тріщин, колія

Місцезнаходження дефекту відповідно схемі А.5	Номер дефекту відповідно схемі А.5	Фото дефекту (рух транспорту з лівого на правий берег через р. Дніпро)	Характерні особливості дефекту покриття проїзної частини
1	2	3	4
Опора 1- Опора 2	8п		Поздовжні поперечні тріщини, сітка тріщин, напливи, вилущування, колія

ДОДАТОК Б

ПІДБІР ЗЕРНОВИХ СКЛАДІВ РІЗНИХ ТИПІВ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ ТА ЇХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Б.1 Підбір зернових складів різних типів асфальтобетонних сумішей

Проектування зернових складів асфальтобетонних сумішей виконувалось за допомогою розробленої програми MixOptima.

Використовуючи дану програму було розраховано зернові склади досліджуваних асфальтобетонних сумішей, розрахунки яких наведені нижче.

Таблиця Б.1 – Розрахунок зернового складу асфальтобетону типу ЦМА-10

Матеріал	Зерновий склад у % при розмірах у мм									
	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Склад вихідних матеріалів у часткових залишках										
Щебінь 5-10	0	8,57	82,3	6,5	0					
Відсів	0	0	15,35	30,08	14,07	13,15	10,33	10,79	6,23	0
Мінеральний порошок,	0	0	0	0	0	0	2,21	9,79	9,7	78,3
Склад вихідних матеріалів за вмістом мінерального матеріалу дрібніше даних розмірів										
Щебінь 5-10	100	91,43	9,13	2,63	0	0	0	0	0	0
Відсів	100	100	84,65	54,57	40,5	27,35	17,02	6,23	0	0
Мінеральний порошок,	100	100	100	100	100	100	97,79	88	78,3	0
Результати розрахунку зернового складу мінеральної частини асфальтобетонної суміші										
Щебінь 5-10	63,0	57,6	5,8	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Відсів	24,0	24,0	20,3	13,1	9,7	6,6	4,1	1,5	0,0	0,0
Мінеральний порошок,	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	12,7	11,4	10,2	0,0
Всього	100	94,6	39,1	27,8	22,7	19,6	16,8	12,9	10,2	0,0
Вимоги	100	100-90	40-30	29-19	26-16	22-13	20-11	17-11	15-10	0

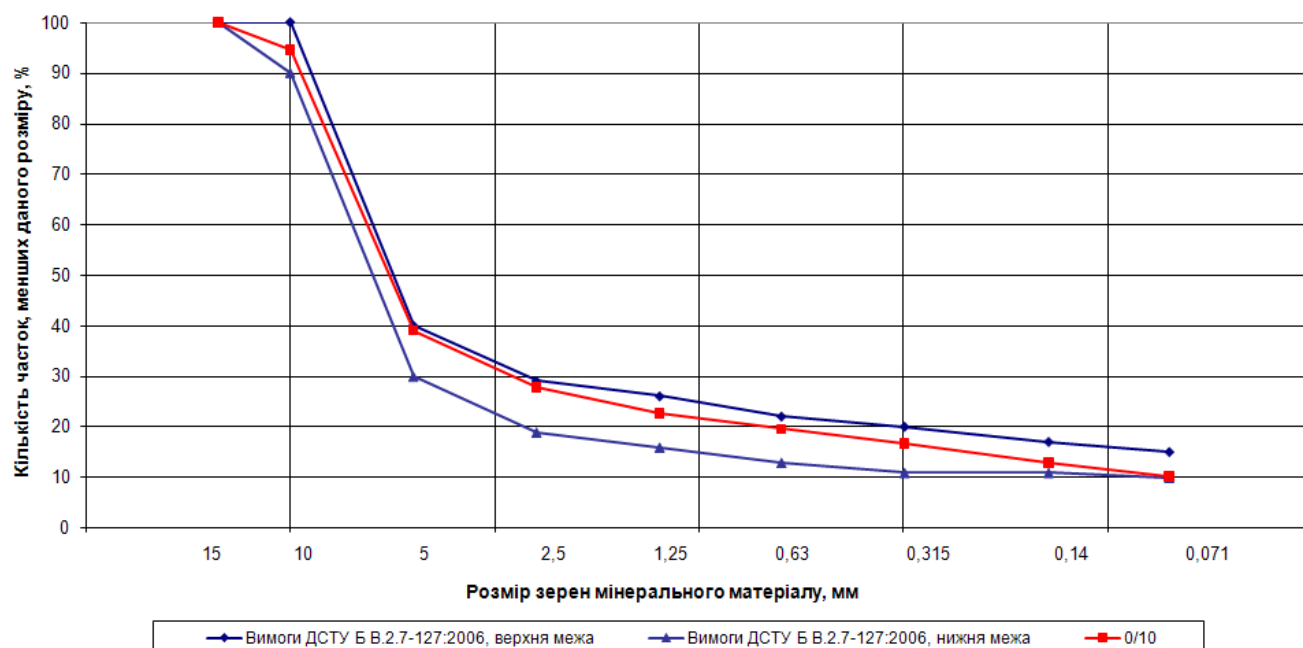


Рисунок Б.1 – Розрахунок зернового складу ЦМА-10

Таблиця Б.2 – Розрахунок зернового складу асфальтобетону типу ЦМА-15

Матеріал	Зерновий склад у % при розмірах у мм											
	40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Склад вихідних матеріалів у часткових залишках												
Щебінь 10-15	0	0	18,7	61,36	19,94		0	0	0	0	0	0
Щебінь 5-10		0	0	45,52	50,42	4,06	0	0	0	0	0	0
Відсів	0	0	0	0	15,37	30,08	14,07	13,15	10,33	10,78	6,22	0
Мінеральний порошок	0	0	0	0	0	0	0	0	2,21	9,79	9,7	78,3
Склад вихідних матеріалів за вмістом мінерального матеріалу дрібніше даних розмірів												
Щебінь 10-15	100,0	100,0	81,3	19,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Щебінь 5-10	100,0	100,0	100,0	54,5	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Відсів	100,0	100,0	100,0	100,0	84,6	54,6	40,5	27,3	17,0	6,2	0,0	0,0
Мінеральний порошок	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,8	88,0	78,3	0,0
Результати розрахунку зернового складу мінеральної частини асфальтобетонної суміші												
Щебінь 10-15 51%	51,0	51,0	41,5	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Щебінь 5-10 19%	19,0	19,0	19,0	10,4	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Відсів 17%	17,0	17,0	17,0	17,0	14,4	9,3	6,9	4,6	2,9	1,1	0,0	0,0
Мін. порошок 13%	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	12,7	11,4	10,2	0,0
Всього 100%	100,00	100,00	90,46	50,52	28,16	22,27	19,88	17,65	15,60	12,50	10,18	0,00
Вимоги	100	100	100-90	60-40	35-25	28-18	25-15	22-12	20-10	16-9	14-9	0

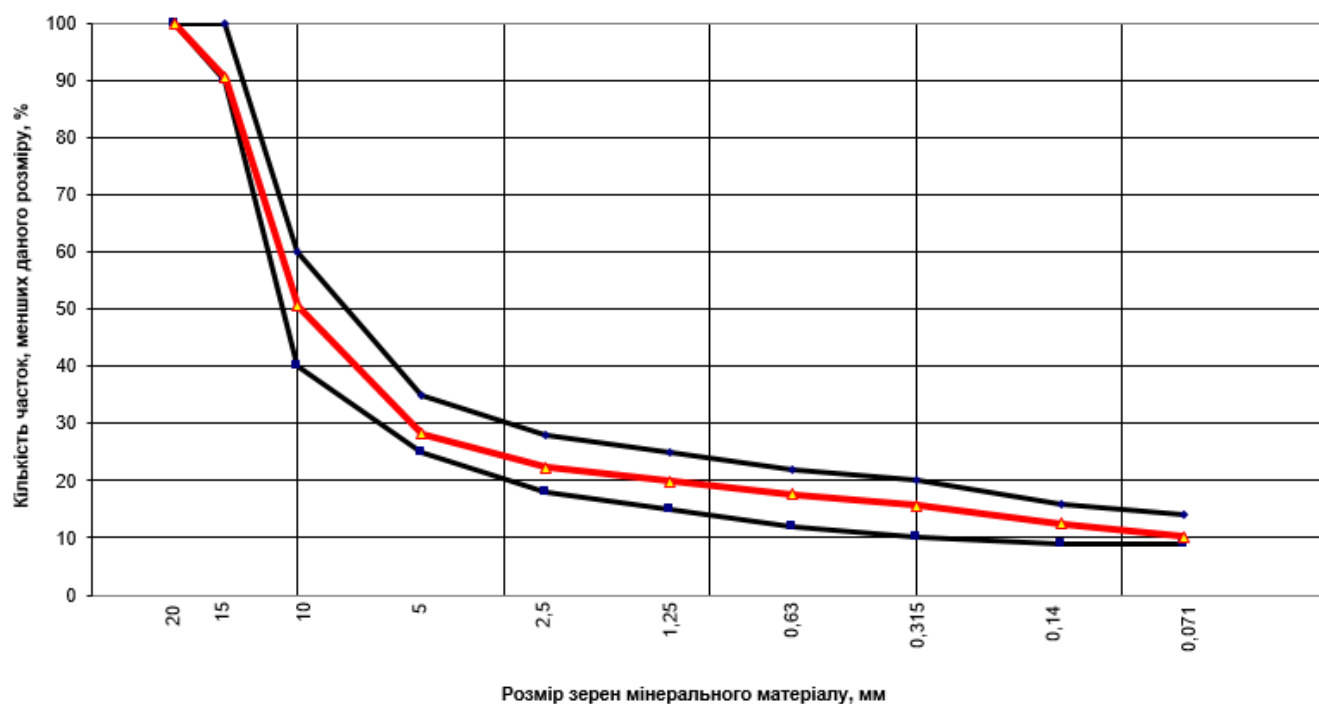


Рисунок Б.2 – Розрахунок зернового складу ЦМА-15

Таблиця Б.3 – Розрахунок зернового складу асфальтобетону типу ЦМА-20

Матеріал	Зерновий склад у % при розмірах у мм											
	40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Склад вихідних матеріалів у часткових залишках												
Щебінь 10-20	0	5,08	55,73	32,56	5,44	1,19	0	0	0	0	0	0
Щебінь 5-10		0	0	45,52	50,42	4,06	0	0	0	0	0	0
Відсів	0	0	0	0	15,37	30,08	14,07	13,15	10,33	10,79	6,21	0
Мінеральний порошок	0	0	0	0	0	0	0	0	2,21	9,79	9,7	78,3
Склад вихідних матеріалів за вмістом мінерального матеріалу дрібніше даних розмірів												
Щебінь 10-20	100,0	94,9	39,2	6,6	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Щебінь 5-10	100,0	100,0	100,0	54,5	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Відсів	100,0	100,0	100,0	100,0	84,6	54,6	40,5	27,3	17,0	6,2	0,0	0,0
Мінеральний порошок	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,8	88,0	78,3	0,0
Результати розрахунку зернового складу мінеральної частини асфальтобетонної суміші												
Щебінь 10-20 55%	55,0	52,2	21,6	3,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Щебінь 5-10 18%	18,0	18,0	18,0	9,8	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Відсів 16%	16,0	16,0	16,0	16,0	13,5	8,7	6,5	4,4	2,7	1,0	0,0	0,0
Мін. порошок 11%	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	10,8	9,7	8,6	0,0
Всього 100%	100,00	97,21	66,55	40,45	25,93	19,73	17,48	15,37	13,48	10,67	8,61	0,00
Вимоги	100	100-90	70-50	42-25	30-20	25-15	24-13	21-11	19-9	15-8	13-8	0

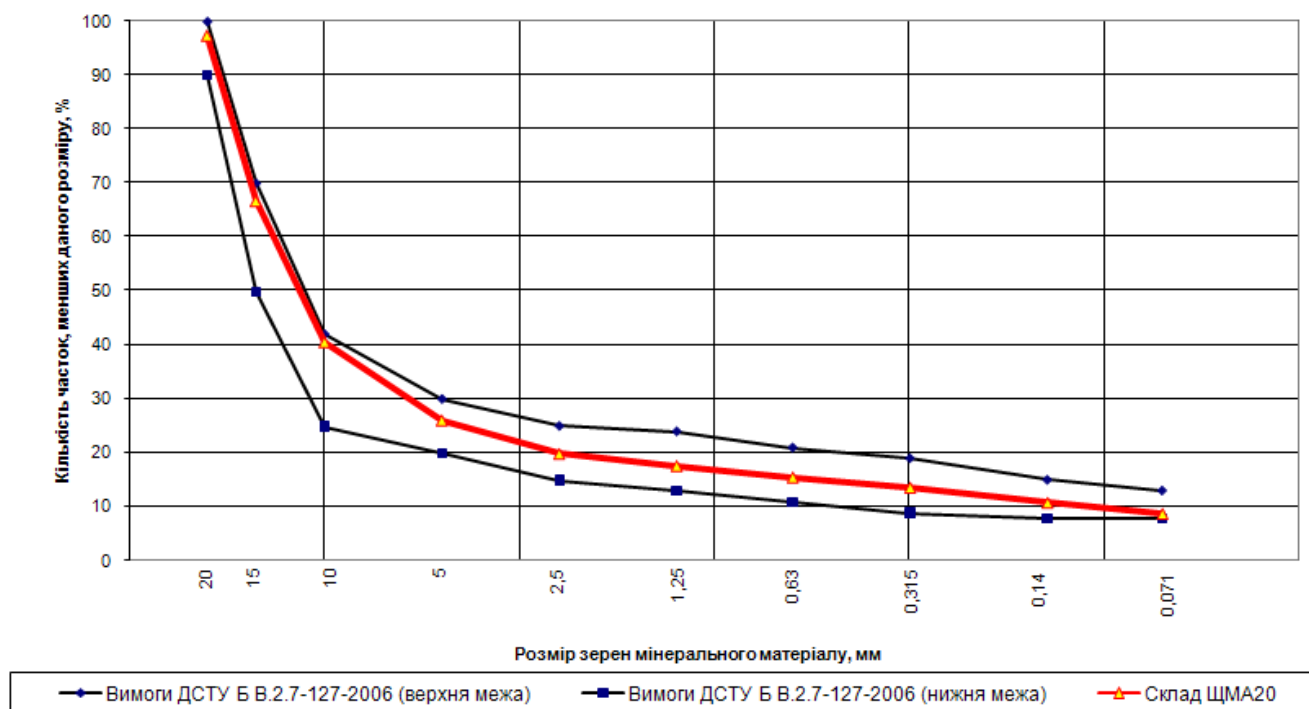


Рисунок Б.3 – Розрахунок зернового складу ЦМА-20

Таблиця Б.4 – Запроектований гранулометричний склад литого асфальтобетону ЛА-10, ЛА-15

Найменування матеріалу	Суміш асфальтобетонна лита для ЛА-10	Суміш асфальтобетонна лита для ЛА-15
Щебінь фр. 10 – 20	-	8,7
Щебінь фр. 5 – 10 мм	26,8	24,9
Відсів фр. 0,5 мм	17,7	15,5
Річковий пісок	19,8	16,5
Мінеральний порошок	27,5	26,9
БМП	8,2	7,5

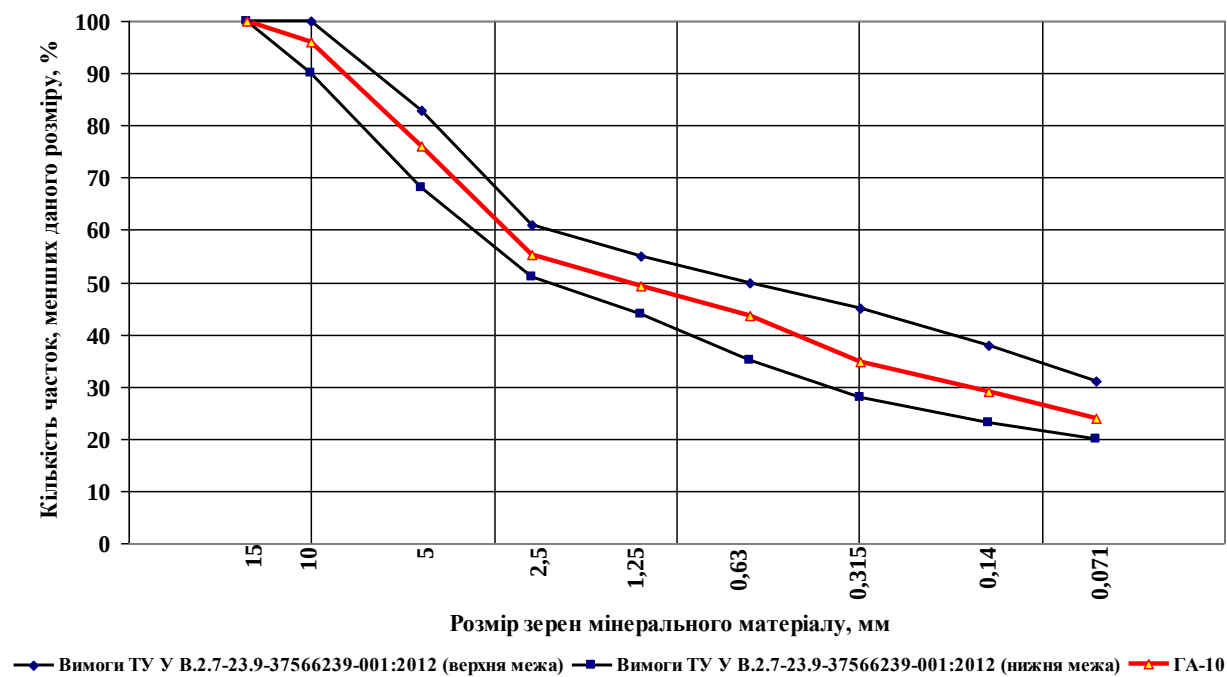


Рисунок Б.4 – Розрахунок зернового складу асфальтобетону литого ЛА-10

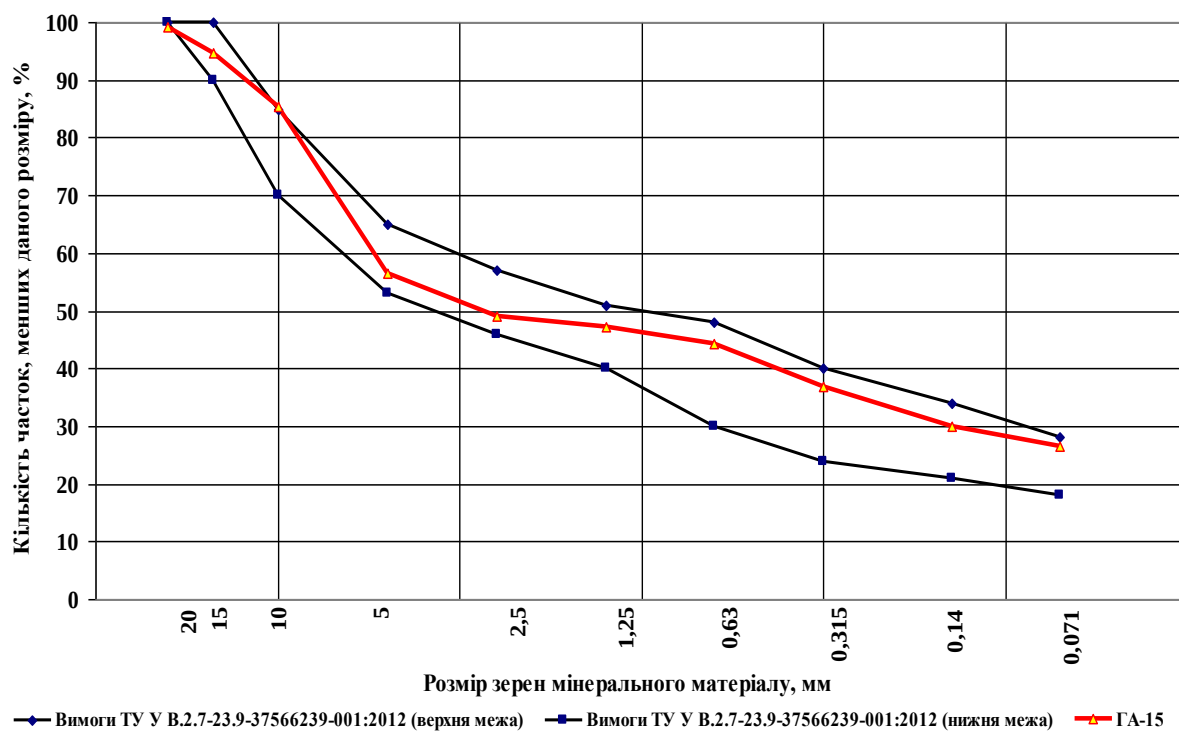


Рисунок Б.5 – Розрахунок зернового складу асфальтобетону литого ЛА-15

Б.2 Фізико-механічні властивості досліджуваних асфальтобетонів

Таблиця Б.5 – Фізико-механічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону ЦМА-10, ЦМА-15, ЦМА-20.

Фізико-механічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону								
Шифр асфальтобетону	Межа міцності на стиск, МПа				R _p , МПа	Коеф. вод., K _{вд}	Коеф. довг. вод. K _{дов.вд}	Водо- наси- чення , %
	R ₂₀ , МПа	R _{20вод} , МПа	R ₅₀ , МПа	R ₀ , МПа				
ЦМА-10 (БНД 60/90 – 6,5 %)	4,29	4,32	1,24	4,04	4,21	0,96	0,94	3,71
ЦМА-10 (КПБВ «Полігум» – 6,4 %)	5,91	5,86	2,94	5,51	7,15	0,99	0,98	2,09
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 6,6 %)	4,98	4,82	1,87	4,75	5,59	0,98	0,96	3,13
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,6 %)	5,31	5,18	2,29	4,91	6,03	0,99	0,97	2,47
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 6,6 %)	5,64	5,59	2,55	4,96	6,51	0,99	0,98	2,15
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 6,7 %)	4,83	4,69	1,49	4,49	5,42	0,98	0,97	3,21
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,7 %)	5,07	5,01	1,81	4,55	5,65	0,99	0,97	2,61
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 6,7 %)	5,51	5,43	1,89	4,83	6,01	0,99	0,98	2,19
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	4,92	4,62	1,68	4,55	5,51	0,94	0,92	2,98
ЦМА-10 (БНД 60/90+ 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	5,27	5,07	2,22	4,81	6,13	0,96	0,95	2,36
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 417 – 6,1 %)	5,43	5,27	2,43	4,87	6,46	0,97	0,96	1,80
ЦМА-15 (БНД 60/90 – 6,5 %)	3,98	3,94	1,17	3,78	3,98	0,97	0,95	3,58
ЦМА-15 (КПБВ «Полігум» – 6,3 %)	5,78	5,71	2,52	4,95	6,44	0,99	0,97	2,18
ЦМА-15 (БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 6,4 %)	4,86	4,77	1,76	4,32	4,79	0,98	0,95	3,3
ЦМА-15 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,4 %)	4,93	4,81	2,21	4,66	4,97	0,98	0,96	2,76
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 6,4 %)	5,37	5,33	2,43	4,78	5,33	0,99	0,97	2,25
ЦМА-15 (БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 6,6 %)	4,65	4,53	1,42	4,28	4,66	0,97	0,95	3,14
ЦМА-15 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,6 %)	4,87	4,77	1,74	4,39	4,73	0,98	0,96	2,38
ЦМА-15 (БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 6,6 %)	5,34	5,21	1,85	4,42	4,91	0,98	0,97	2,12
ЦМА-15 (БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 6,5 %)	4,77	4,58	1,59	4,42	4,67	0,96	0,91	3,01

Кінець табл. Б.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,5 %)	4,90	4,62	2,07	4,43	4,81	0,96	0,94	2,41
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 4170 – 6,5 %)	5,29	5,18	2,35	4,68	5,16	0,98	0,95	1,99
ЩМА-20 (БНД 60/90 – 6,0%)	3,87	3,75	1,11	3,81	3,29	0,98	0,93	3,47
ЩМА-20 (КПБВ «Полігум» – 5,9 %)	5,45	5,41	2,21	4,79	5,84	0,99	0,98	2,04
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 6,1 %)	4,51	4,37	1,52	4,48	4,32	0,98	0,94	3,41
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,1 %)	4,73	4,59	1,84	4,51	4,71	0,98	0,95	2,76
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 6,1 %)	5,17	5,06	2,11	4,71	4,99	0,99	0,97	2,11
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 6,2 %)	4,45	4,37	1,39	4,26	4,06	0,98	0,96	3,03
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,2 %)	4,71	4,63	1,65	4,37	4,11	0,98	0,97	2,11
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 6,2 %)	5,09	4,95	1,84	4,42	4,29	0,99	0,98	1,99
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	4,47	4,25	1,46	4,33	4,56	0,95	0,94	3,17
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	4,80	4,66	1,90	4,39	4,49	0,97	0,95	2,55
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	5,16	5,06	2,03	4,61	4,77	0,98	0,96	2,07

Результати визначення межі міцності на стиск та розтяг при згині при температурах 0 °С, +20 °С та + 50 °С дозволили встановити, що оптимальна кількість бітуму марки БНД 60/90 для ЩМА-10 – 6,5 %, ЩМА-15 – 6,5 %, а для ЩМА-20 – 6,0 % (табл. Б.5).

За результатами визначення межі міцності на стиск та розтягу при згині (табл. Б. 5) при температурах 0 °С, +20 °С та + 50 °С, оптимальна кількість бітуму модифікованому полімерами (далі – БМП) при 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101, для даних типів асфальтобетонів склала: для ЩМА-10 – 6,7 %, ЩМА-15 – 6,6 %, ЩМА-20 – 6,1 %.

Оптимальна кількість БМП при вмісту полімеру Butonal NS 198 2 %, 4 % та 6 % для даних типів асфальтобетонів за результатами визначення межі міцності на стиск та розтягу при згині (табл. Б. 5) при температурах 0 °С,

+20 °C та + 50 °C, складала: для ЩМА-10 – 6,8%, ЩМА-15 – 6,6 %, ЩМА-20 – 6,2 %.

Результати визначення межі міцності на стиск та розтягу при згині (табл. Б. 5) при температурах 0 °C, +20 °C та + 50 °C показали, що при вмісту полімеру Elvaloy 4170 1 %, 1,5 % та 2 % оптимальна кількість БМП для даних типів асфальтобетону, становить: для ЩМА-10 – 6,4%, ЩМА-15 – 6,3 %, ЩМА-20 – 5,9 %.

А витрата комплексного полімер-бітумного в'язучого «Полігум» (далі – СРВА, КПБВ «Полігум») за результатами визначення межі міцності на стиск та розтягу при згині (табл. Б. 5) 0 °C, +20 °C та + 50 °C, становить: для ЩМА-10 – 6,7%, ЩМА-15 – 6,5 %, ЩМА-20 – 6,1 %.

Результати випробувань ЩМА-10, ЩМА-15 та ЩМА-20 (табл. Б.5) межі міцності на стиск R_{20} при температурі 20 °C при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{20} в ЩМА-10 при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП на 16 %, 24 % та 31 %, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 % , при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» межа міцності при стиску зросла на 38 % порівняно з ЩМА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Випробування ЩМА-15 при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{20} на 22 %, 24 % та 35 % відповідно при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 17%, 22 % та 34 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» межа міцності при стиску зросла на 45 % порівняно з ЩМА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Дослідження ЩМА-20 при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{20} на 16,5 %, 22 % та

33 % відповідно при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 15%, 21% та 31,5 %, при 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» межа міцності при стиску зросла на 41 % порівняно з ЩМА-20 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Також отримано результати випробувань асфальтобетонних зразків ЩМА-10, ЩМА-15 та ЩМА-20 (табл. Б.5) межі міцності на стиск R_{50} при температурі 50 °С при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{50} в ЩМА-10 при вмісту 1 %, 3 % і 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП на 50 %, 84 % та 104 % , при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 21%, 46 % та 52%, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» межа міцності при стиску зросла на 137 % порівняно з ЩМА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Випробування ЩМА-15 при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{50} на 53 %, 88 % та 107 % відповідно при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 21%, 48 % та 58 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» межа міцності при стиску зросла на 107 %, порівняно з ЩМА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Результати випробувань ЩМА-20 при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{50} на 37 %, 66 % та 90 % відповідно при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 25%, 49% та 66 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ

«Полігум» межа міцності при стиску зросла на 99 %, порівняно з ЩМА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Отримано результати випробувань показника міцності на розтягування при розколюванні R_0 за температури 0 °С для ЩМА-10, ЩМА-15 та ЩМА-20 (табл. Б.5) при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_0 для ЩМА-10 на 17,5 %, 21,5 % та 23,0 % при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 11 %, 13 % та 20 %, при 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» збільшення показника на 36 % порівняно з ЩМА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Збільшення показника R_0 для ЩМА-15 на бітумах модифікованих полімерами на 14 %, 23 % та 26 % відповідно при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 13 %, 16 % та 17 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» збільшення на 31 % порівняно з ЩМА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Результати збільшення показника R_0 для ЩМА-20 наступні: при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП збільшення на 17,5 %, 19 % та 20 %, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 12,5 %, 14,5 % та 16 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» збільшення на 25,5 % порівняно з ЩМА-20 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Також отримано результати випробувань показника водонасичення за об'ємом W , % для асфальтобетонних зразків ЩМА-10, ЩМА-15 та ЩМА-20 (табл. Б.5). Так для ЩМА-10 при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП показник W , зменшився на 18 %, 33,5 %, 42 %, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП зменшення на 13,5 %, 30 % і 41 %, при

вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП зменшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» зменшення водонасичення на 44 % у порівнянні із ЩМА-10 на звичайному бітумі марки БНД 60/90.

Так для ЩМА-15 при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП показник W зменшився 8 %, 23 % та 37 %, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП зменшення на 12,5 %, 33,5 % і 31 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП зменшення на 12,5 %, 18 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» зменшення на 31 % у порівнянні із ЩМА-15 на звичайному бітумі марки БНД 60/90.

Для ЩМА-20 при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП показник W зменшився на 2 %, 20,5 % та 39 %, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП зменшення на 13 %, 39 % і 42 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП зменшення на 12,5 %, 18 % та 28 % відповідно, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» зменшення на 43 % у порівнянні із ЩМА-20 на звичайному бітумі марки БНД 60/90.

Також із вище наведеними результатами фізико-механічних властивостей досліджуваних щебенево-мастикових асфальтобетонів, при застосуванні полімерів Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум» у порівнянні з такими асфальтобетонами на традиційному бітумі БНД 60/90 покращилися показники коефіцієнта водостійкості K_v (табл. Б.5).

Так для ЩМА-10, ЩМА-15 та ЩМА-20 на чистому бітумі БНД 60/90 він становить: 0,96, 0,97 та 0,98 відповідно.

Для ЩМА-10 при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП K_v становить 0,98 – 0,99, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП показник 0,98 – 0,99, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП відповідно 0,97 – 0,99, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» – 0,99.

В ЩМА-15 при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 на БМП K_v становить 0,98 – 0,99, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру

Butonal NS 198 в БМП показник 0,97 – 0,99, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 відповідно 0,97 – 0,99, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» – 0,99.

Для ЩМА-20 при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 на БМП K_v становить 0,98 – 0,99, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 показник 0,98 – 0,99, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 відповідно 0,97 – 0,99, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» – 0,99.

У даному випадку ЩМА-10, ЩМА-15, ЩМА-20 на БМП, в порівнянні із щебенево-мастиковими асфальтобетонами на звичайному бітумі марки БНД 60/90, спостерігається збільшення коефіцієнта водостійкості до максимально можливого його значення.

Результати визначення фізико-механічних властивостей в залежності від кількості полімеру та часу приготування БМП показали, що вони вагомо покращуються навіть при невеликій його кількості.

З отриманих результатів видно, що межа міцності при стиску (табл. Б.5) при температурах 0 °С, +20 °С та + 50 °С суттєво збільшується при випробуванні на КПБВ «Полігум», а також при введенні полімеру Kraton D1101 в БМП у кількості 3 – 5 %, полімеру Butonal NS 198 у кількості 2 – 4 %, полімеру Elvaloy 4170 у кількості 1,5 – 2 %.

Поряд із наведеним, при використанні полімерів досліджуваних в щебенево-мастикових асфальтобетонах, спостерігається вагоме підвищення показника коефіцієнта водостійкості. В деяких випадках цей показник досягає максимально можливого значення, яке наближене до 1,0. Це свідчить про те, що при використанні полімерів Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум» підвищується стійкість асфальтобетонів до дії атмосферних факторів та можливих наслідків від них.

Отримані результати свідчать про те, що вони є суміжними із результатами робіт [105 – 110, 114].

Таблиця Б.6 – Фізико-механічні властивості литого асфальтобетону
ЛА-10, ЛА-15.

Фізико-механічні властивості литого асфальтобетону							
Шифр асфальтобетону	Межа міцності на стиск, МПа				R _p , МПа	Коеф. довг. вод. K _{дов.вд}	Водо- наси- чення, %
	R ₂₀ , МПа	R _{20Дов.вд} , МПа	R ₅₀ , МПа	R ₀ , МПа			
ЛА-10 (БНД 60/90 – 7,9 %)	2,23	2,16	0,74	5,24	4,21	0,97	0,27
ЛА-10 (КПБВ «Полігум» – 8,1 %)	3,67	3,67	1,17	7,33	5,71	1,0	0,13
ЛА-10(БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 8,2 %)	2,48	2,43	0,79	5,88	4,63	0,98	0,24
ЛА-10(БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,2 %)	2,69	2,66	0,95	6,39	5,01	0,99	0,17
ЛА-10(БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 8,2 %)	3,21	3,18	1,12	6,97	5,49	0,99	0,14
ЛА-10(БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	2,33	2,28	0,81	5,46	4,39	0,98	0,25
ЛА-10(БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	2,49	2,47	0,88	5,92	4,87	0,99	0,22
ЛА-10(БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	2,85	2,82	0,94	6,65	5,31	0,99	0,19
ЛА-10(БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	2,37	2,32	0,84	5,63	4,51	0,98	0,23
ЛА-10(БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	2,53	2,50	0,91	5,88	4,76	0,99	0,17
ЛА-10(БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	2,79	2,76	0,99	6,79	5,38	0,99	0,16
ЛА-15(БНД 60/90 – 7,8 %)	2,65	2,60	0,81	6,39	4,77	0,98	0,29
ЛА-15 (КПБВ Полігум – 8,0 %)	4,26	4,26	1,32	8,58	6,68	1,0	0,12
ЛА-15(БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 8,1 %)	2,88	2,82	0,89	6,88	5,42	0,98	0,26
ЛА-15(БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,1 %)	3,12	3,09	1,07	7,48	5,86	0,99	0,21
ЛА-15(БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 8,1 %)	3,72	3,68	1,27	8,15	6,42	0,99	0,13
ЛА-15(БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	2,70	2,67	0,92	6,53	5,14	0,99	0,27
ЛА-15(БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	2,89	2,86	0,99	6,93	5,70	0,99	0,24
ЛА-15(БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	3,31	3,28	1,06	7,78	6,21	0,99	0,15
ЛА-15(БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	2,75	2,72	0,95	6,59	5,28	0,99	0,25
ЛА-15(БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	2,93	2,90	1,03	6,88	5,57	0,99	0,21
ЛА-15(БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	3,24	3,21	1,12	7,94	6,29	0,99	0,19

Результати визначення межі міцності на стиск та розтяг при згині в при температурах 0 °С, +20 °С та + 50 °С дозволили встановити, що оптимальна бітуму марки БНД 60/90 для ЛА-10 – 7,9 %, а для ЛА-15 – 7,8 % (табл. Б. 6).

За результатами визначення межі міцності на стиск та розтягу при згині (табл. Б.6) при температурах 0 °С, +20 °С та + 50 °С оптимальна кількість БМП при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101, для даних типів асфальтобетону склала: для ЛА-10 – 8,2 %, ЛА-15 – 8,1 %.

Оптимальна кількість БМП при вмісту полімеру типу Butonal NS 198 2 %, 4 % та 6 % для даних типів асфальтобетону за результатами визначення межі міцності на стиск та розтягу при згині (табл. Б.6) при температурах 0 °С, +20 °С та + 50 °С склала: для ЛА-10 – 8,3 %, а для ЛА-15 – 8,2 %.

Результатами визначення межі міцності на стиск та розтягу при згині (табл. Б.6) при температурах 0 °С, +20 °С та + 50 °С показали, що при вмісту полімеру Elvaloy 4170 1 %, 1,5 % та 2 % оптимальна кількість БМП для даних типів асфальтобетону становить: для ЛА-10 – 8,1 %, ЛА-15 – 8,0 %.

А витрата КПБВ «Полігум» результатами визначення межі міцності на стиск та розтягу при згині (табл. Б. 6) при температурах 0 °С, +20 °С та + 50 °С, становить: для ЛА-10 – 8,1 %, ЛА-15 – 8,0 %.

Результати випробувань ЛА-10 та ЛА-15 (табл. Б.6) межі міцності на стиск R_{20} при температурі 20 °С при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{20} для ЛА-10 відбулося на 11 %, 21 % та 44 % при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 5 %, 12 % та 28 % відповідно, при 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 6 %, 14 % та 25 % відповідно, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» межа міцності при стиску зросла на 65 % порівняно з ЛА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Випробування ЛА-15 при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{20} на 9 %, 18 % та 40 % відповідно при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 2%, 9 % та 25 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 4 %, 11 % та 22 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» межа міцності при стиску зросла на 60 % порівняно з ЛА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Також отримано результати випробувань асфальтобетонних зразків ЛА-10 та ЛА-15 (табл. Б.6) межі міцності на стиск R_{50} при температурі 50 °С при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{50} в ЛА-10 при вмісту 1 %, 3 % і 5 % полімеру Kraton D1101 на 7 %, 28 % та 51 %, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 10%, 19 % та 27 %, при 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 14 %, 23 % та 34 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» межа міцності при стиску зросла на 58 % порівняно з ЛА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Випробування ЛА-15 при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_{50} для ЛА-15 відбулося на 16 %, 32 % та 57 % відповідно при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 14 %, 22 % та 31 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 17 %, 27 % та 28 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» межа міцності при стиску зросла на 63 % порівняно з ЛА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Отримані також результати випробувань показника міцності на стиск при температурі 0 °С для ЛА-10 та ЛА-15 (табл. Б.6), які при модифікації бітуму різними полімерами показали наступні результати: збільшення показника R_0 для ЛА-10 при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП на 12 %, 21 % та 33 %, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП

збільшення на 4 %, 13 % та 27 %, при 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 7 %, 12 % та 30 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» збільшення показника міцності відбулося на 40 % порівняно з ЛА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Збільшення показника R_0 для ЛА-15 на бітумах модифікованих полімерами на 8 %, 17 % та 27,5 % відповідно при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП збільшення на 2 %, 8,5 % та 22 %, при 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП збільшення на 3 %, 8 % та 24,5 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» збільшення показника міцності відбулося на 34 % порівняно з ЛА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Також отримано результати випробувань показника водонасичення за об'ємом W , % для асфальтобетонних зразків ЛА-10 та ЛА-15 (табл. Б.6). Так при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП показник W зменшився на 12,5 %, 59 % та 93 %, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП зменшення на 8 %, 23 % і 42 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП зменшення на 17 %, 59 % та 69 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» зменшення водонасичення на 108 % порівняно з ЛА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Так для ЛА-15 при вмісту 1 %, 3 % та 5 % полімеру Kraton D1101 в БМП показник W зменшився 8 %, 24 % та 100 %, при вмісту 2 %, 4 % та 6 % полімеру Butonal NS 198 в БМП зменшення на 4 %, 8 % та 44 %, при вмісту 1 %, 1,5 % та 2 % полімеру Elvaloy 4170 в БМП зменшення на 4 %, 24 % та 53 %, а при випробуванні на КПБВ «Полігум» зменшення на 31 % у порівнянні з ЛА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Також із вище наведеними результатами фізико-механічних властивостей досліджуваних литих асфальтобетонів, при застосуванні полімерів Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум» у порівнянні з такими асфальтобетонами на традиційному бітумі БНД 60/90 покращилися показники коефіцієнта довготривалої водостійкості $K_{\text{дов.вд.}}$ (табл. Б.6). Так для

ЛА-10 та ЛА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90 він становить: 0,97 та 0,98 відповідно.

Поряд із наведеним, при використанні полімерів досліджуваних в литих асфальтобетонах, спостерігається вагоме підвищення показника коефіцієнта довготривалої водостійкості $K_{\text{дов.вд.}}$. В деяких випадках цей показник досягає максимально можливого значення, яке наближене до 1,0. Це свідчить про те, що при використанні полімерів Kraton D1101, Butonal NS 198, Elvaloy 4170 та КПБВ «Полігум» підвищується стійкість асфальтобетонів до дії атмосферних факторів та можливих наслідків від них.

Отримані результати свідчать про те, що вони є суміжними із результатами робіт [105 – 110, 114].

Б.3 Визначення параметрів функції довговічності

Таблиця Б.7 – Результати визначення параметрів функції довговічності та межі міцності на розтяг при згині ЦМА-10, ЦМА-15, ЦМА-20.

Шифр асфальтобетону	Межа міцності на розтяг при згині R_p , Мпа		Параметри функції довговічності при різних температурах					
			$T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	+20 $^{\circ}\text{C}$	0 $^{\circ}\text{C}$	b τ	lgB τ , с·Мпа	m	b τ	lgB τ , с·Мпа	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЦМА-10 (БНД 60/90 – 6,5 %)	4,21	8,73	2,67	3,75	0,358	5,84	9,35	0,176
ЦМА-10 (КПБВ «Полігум» – 6,4 %)	7,15	12,54	4,03	5,07	0,244	7,60	11,48	0,125
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 6,6 %)	5,59	10,21	3,61	4,43	0,278	6,48	10,39	0,157
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,6 %)	6,03	11,46	3,79	4,57	0,264	6,79	10,86	0,146
ЦМА-10 (БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 6,6 %)	6,61	11,99	3,98	4,81	0,251	7,11	11,25	0,130

Продовження табл. Б.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 6,7 %)	5,42	9,43	3,09	4,01	0,329	6,18	9,93	0,162
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,7 %)	5,65	10,27	3,65	4,43	0,275	6,53	10,46	0,153
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 6,7 %)	6,01	11,21	3,78	4,53	0,268	6,75	10,83	0,148
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	5,51	9,82	3,57	4,37	0,287	6,33	10,21	0,159
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	6,13	10,68	3,84	4,65	0,259	6,65	10,71	0,141
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	6,46	11,57	3,93	4,73	0,257	6,82	10,97	0,138
ЩМА-15 (БНД 60/90 – 6,5 %)	3,75	8,31	2,57	3,66	0,373	5,72	9,15	0,177
ЩМА-15 (КПБВ «Полігум» – 6,3 %)	6,50	12,21	3,91	4,83	0,255	7,26	11,12	0,129
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 6,4 %)	4,96	9,73	3,32	4,19	0,303	6,31	10,19	0,156
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,4 %)	5,37	10,95	3,72	4,49	0,272	6,66	10,63	0,147
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 6,4 %)	5,80	11,54	3,84	4,62	0,262	6,86	10,95	0,136
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 6,6 %)	4,74	9,275	3,01	3,94	0,336	6,15	9,79	0,164
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,6 %)	4,88	10,17	3,57	4,35	0,281	6,48	10,34	0,154
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 6,6 %)	5,15	11,01	3,70	4,47	0,272	6,63	10,60	0,15
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 6,5 %)	4,89	9,49	3,27	4,13	0,312	6,22	10,06	0,159
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,5 %)	5,31	10,47	3,69	4,45	0,271	6,56	10,59	0,145 5

Кінець табл. Б.7

ЩМА-15 (БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 4170 – 6,5 %)	5,62	11,25	3,79	4,57	0,267	6,70	10,76	0,142
ЩМА-20 (БНД 60/90 – 6,0 %)	3,29	7,88	2,47	3,56	0,387	5,59	8,98	0,179
ЩМА-20 (КПБВ «Полігум» – 5,9 %)	5,84	11,87	3,79	4,58	0,265	6,92	10,76	0,132
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 6,1 %)	4,32	9,25	3,02	3,95	0,329	6,14	9,98	0,155
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,1 %))	4,71	10,44	3,65	4,41	0,279	6,54	10,41	0,149
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 6,1 %))	4,99	11,09	3,69	4,43	0,273	6,61	10,65	0,143
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 6,2 %)	4,06	9,12	2,92	3,86	0,343	6,11	9,66	0,166
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,2 %)	4,11	10,07	3,48	4,27	0,288	6,43	10,21	0,155
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 6,2 %)	4,29	10,79	3,62	4,40	0,276	6,51	10,37	0,152
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	4,26	9,17	2,96	3,88	0,337	6,12	9,91	0,159
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	4,49	10,25	3,53	4,34	0,282	6,46	10,47	0,150
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	4,77	10,92	3,64	4,41	0,277	6,58	10,55	0,146

Так параметри функції довговічності $b\tau$ (+20 °С) для ЩМА-10 при введенні полімеру Kraton D1101 у кількості 3 % збільшується на – 43,8 %, Butonal NS 198 в кількості 4 % збільшується на – 36,7 %, Elvaloy 4170 в кількості 1,5 % збільшується на – 41,9 %, а на КПБВ «Полігум» параметри збільшуються на 51 % порівняно з ЩМА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Таблиця Б.8 – Результати визначення параметрів функції довговічності та межі міцності на розтяг при згині ЛА-10, ЛА-15.

Шифр асфальтобетону	Межа міцності на розтяг при згині R_p , Мпа		Параметри функції довговічності при різних температурах					
			$T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	+20 $^{\circ}\text{C}$	0 $^{\circ}\text{C}$	$b\tau$	$\lg B\tau$, с·Мпа	m	$b\tau$	$\lg B\tau$, с·Мпа	m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЛА-10 (БНД 60/90 – 7,9 %)	5,05	13,87	3,10	4,306	0,323	6,30	11,45	0,159
ЛА-10 (КПБВ «Полігум» – 8,1 %)	7,42	15,99	4,91	5,273	0,204	8,19	14,06	0,122
ЛА-10(БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 8,2 %)	6,02	14,45	3,92	4,817	0,255	6,99	12,73	0,143
ЛА-10(БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,2 %)	6,51	15,01	4,14	4,952	0,242	7,32	13,30	0,137
ЛА-10(БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 8,2 %)	7,14	15,46	4,51	5,188	0,222	7,66	13,78	0,131
ЛА-10(БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	5,71	13,99	3,67	4,715	0,272	6,66	12,16	0,150
ЛА-10(БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	6,33	14,83	4,09	4,783	0,244	7,04	12,81	0,142
ЛА-10(БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	6,90	15,17	4,38	5,121	0,228	7,28	13,27	0,137
ЛА-10(БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	5,86	14,22	3,89	4,766	0,257	6,82	12,51	0,147
ЛА-10(БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	6,19	14,91	4,25	5,009	0,235	7,17	13,12	0,139
ЛА-10(БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	6,99	15,22	4,43	5,155	0,226	7,35	13,44	0,136
ЛА-15(БНД 60/90 – 7,8 %)	5,56	14,29	3,50	4,87	0,286	6,45	11,71	0,155
ЛА-15 (КПБВ «Полігум» – 8,0 %)	8,16	16,81	5,55	5,96	0,180	8,15	14,18	0,123
ЛА-15(БНД 60/90 + 1 % Kraton D1101 – 8,1 %)	6,62	15,48	4,43	5,44	0,226	7,08	12,99	0,141
ЛА-15(БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,1 %)	7,16	15,91	4,68	5,60	0,214	7,47	13,55	0,134
ЛА-15(БНД 60/90 + 5 % Kraton D1101 – 8,1 %)	7,85	16,35	5,10	5,86	0,196	7,70	13,96	0,130
ЛА-15(БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	6,28	14,51	4,15	5,33	0,241	6,90	12,48	0,145

Кінець табл. Б.8

ЛА-15(БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	6,96	15,07	4,62	5,40	0,216	7,27	13,18	0,138
ЛА-15(БНД 60/90 + 6 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	7,59	15,63	4,95	5,79	0,202	7,44	13,52	0,134
ЛА-15(БНД 60/90 + 1,0 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	6,45	14,85	4,40	5,39	0,227	6,98	12,83	0,143
ЛА-15(БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	6,81	15,57	4,80	5,66	0,208	7,36	13,50	0,136
ЛА-15(БНД 60/90 + 2,0 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	7,69	16,07	5,01	5,83	0,200	7,52	13,72	0,133

Для ЩМА-15 при введенні полімеру Kraton D1101 в кількості 3 % в БМП параметри функції довговічності $b\tau$ (+20 °C) збільшуються на – 44,7 %, полімеру Butonal NS 198 в кількості 4 % збільшуються на – 38,9 %, Elvaloy 4170 в кількості 1,5 % збільшуються на – 42,8 %, а на КПБВ «Полігум» на 52,1 % порівняно з ЩМА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Параметри функції довговічності $b\tau$ (+20 °C) для ЩМА-20 при введенні полімеру Kraton D1101 в кількості 3 % збільшуються на – 47,7 %, полімеру Butonal NS 198 в кількості 4 % збільшуються на – 40,8 %, Elvaloy 4170 в кількості 1,5 % збільшуються на – 42,9 %, а на КПБВ «Полігум» на 53,4 % у порівнянні з ЩМА-20 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

А параметри функції довговічності $b\tau$ (+20 °C) для ЛА-10 при введенні полімеру Kraton D1101 у кількості 3 % збільшуються на – 19 %, полімеру Butonal NS 198 у кількості 4 % збільшуються на – 15,6 %, Elvaloy 4170 в кількості 1,5 % збільшуються на – 13 %, а на КПБВ «Полігум» на 35,6 % порівняно з ЛА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Для ЛА-15 при введенні полімеру Kraton D1101 у кількості 3 % параметри збільшуються на – 22,8 %, полімеру Butonal NS 198 у кількості 4 % збільшуються на – 19,5 %, Elvaloy 4170 в кількості 1,5 % збільшуються на – 16,8 %, а на КПБВ «Полігум» на 40 % у порівнянні ЛА-15 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Б. 4 Визначення межі міцності на розтяг при згині, з урахуванням різного часу дії навантаження;

Для визначення гранично допустимого напруження $R_{зг}^t$ асфальтобетону отримано лабораторне значення $R_{лаб}^t$ границі міцності на розтяг при згині асфальтобетону та розрахункові значення модуля пружності, E , МПа, в залежності від різного часу дії навантаження, при $t = 0,1$ с, 1,0 с, 10,0 с., результати наведені в таблиці Б.9 – Б.10.

Таблиця Б.9 – Результати визначення межі міцності на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження ЩМА-10, ЩМА-15, ЩМА-20.

Марка бітуму асфальтобетону	Розрахункові значення модуля пружності, E , МПа, при часу дії навантаження t_i , сек			m	k_{np}	Нормативні значення при згині R_i , МПа, при часу дії навантаження t_i , сек		
	0,1	1,0	10,0			0,1	1,0	10,0
ЩМА-10 (БНД 60/90 – 6,5 %)	3950	2050	1290	5,84	4,0	8,33	5,55	3,97
ЩМА-10 (КПБВ «Полігум» – 6,4 %)	7340	3860	2340	7,6	2,6	12,54	8,36	5,97
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,6 %)	5470	3210	1730	6,79	2,6	11,46	7,64	5,46
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,7 %)	4500	2330	1430	6,53	2,9	10,27	6,85	4,89
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	4650	2620	1570	6,65	2,9	10,68	7,12	5,09
ЩМА-15 (БНД 60/90 – 6,5 %)	3610	1870	1160	5,72	4,0	8,31	5,36	3,66
ЩМА-15 (КПБВ «Полігум» – 6,3 %)	6700	3510	2130	7,26	2,6	12,21	7,88	5,38
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,4 %)	5000	3020	1640	6,66	4,0	10,95	7,06	4,82
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,6 %)	4100	2110	1260	6,48	2,9	10,17	6,56	4,48
ЩМА-15 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,5 %)	4390	2460	1410	6,56	4,5	10,47	6,75	4,61
ЩМА-20 (БНД 60/90 – 6,0 %)	3300	1690	980	5,59	4,0	7,88	5,18	3,43
ЩМА-20 («ПБВ «Полігум» – 5,9 %)	5670	3200	1790	6,92	2,9	11,87	7,81	5,16
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 6,1 %)	4320	2860	1440	6,54	4,5	10,44	6,87	4,54
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 6,2 %)	3700	1920	1080	6,43	2,9	10,07	6,63	4,38
ЩМА-20 (БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 6,1 %)	3900	2140	1220	6,46	4,0	10,25	6,74	4,46

Таблиця Б.10 – Результати визначення межі міцності на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження ЛА-10, ЛА-15.

Марка бітуму асфальтобетону	Розрахункові значення модуля пружності, Е, МПа, при часу дії навантаження t_i , сек			m	k_{np}	Нормативні значення при згині R_i , МПа, при часу дії навантаження t_i , сек		
	0,1	1,0	10,0			0,1	1,0	10,0
ЛА-10 (БНД 60/90 – 7,9 %)	4630	2480	1460	6,30	4,0	13,87	9,57	6,03
ЛА-10 (ПБВ «Полігум» – 8,1 %)	8590	4620	2730	8,19	2,6	15,99	11,03	6,95
ЛА-10(БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,2 %)	6400	3440	2040	7,32	2,6	15,01	10,35	6,53
ЛА-10(БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,3 %)	5280	2830	1680	7,04	2,9	14,83	10,23	6,45
ЛА-10(БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,1 %)	5440	2900	1750	7,17	2,9	14,91	10,28	6,48
ЛА-15(БНД 60/90 – 7,8%)	4380	2250	1350	6,45	4,0	14,29	9,86	6,32
ЛА-15 (ПБВ «Полігум» – 8,0 %)	8130	4210	2510	8,15	2,6	16,81	11,59	7,44
ЛА-15(БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101 – 8,1 %)	6070	3160	1870	7,47	4,0	15,91	10,97	7,04
ЛА-15(БНД 60/90 + 4 % Butonal NS 198 – 8,2 %)	4930	2550	1510	7,27	2,9	15,07	10,39	6,67
ЛА-15(БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170 – 8,0 %)	5310	2720	1660	7,36	4,5	15,57	10,74	6,89

Б. 5 Визначення коефіцієнту температурної тріщиностійкості

Результати експериментального та розрахункового визначення граничних температурних напружень та часу до руйнування зразків щебенево-мастикового та литого асфальтобетону після десяти циклів охолодження наведені в таблиці Б.11 – Б.12.

Таблиця Б.11 – Результати визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості ЩМА-10, ЩМА-15, ЩМА-20

Вид та кількість полімеру	ЩМА-10	ЩМА-15	ЩМА-20	Критерій граничного стану
БНД 60/90	0,735	0,757	0,785	0,75
КПБВ «Полігум»	0,941	0,972	0,985	0,75
БНД 60/90+ 3 % Kraton D1101	0,915	0,941	0,963	0,75
БНД 60/90+ 4 % Butonal NS 198	0,895	0,932	0,950	0,75
БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170	0,907	0,938	0,958	0,75

Таблиця Б.12 – Результати визначення коефіцієнту температурної тріщиностійкості ЛА-10, ЛА-15

Вид та кількість полімеру	ЛА-10	ЛАБ-15	Критерій граничного стану
БНД 60/90	0,875	0,907	0,75
КПБВ «Полігум»	0,981	0,996	0,75
БНД 60/90+ 3 % Kraton D1101	0,957	0,984	0,75
БНД 60/90+ 4 % Butonal NS 198	0,908	0,953	0,75
БНД 60/90 + 1,5 % Elvaloy 4170	0,935	0,976	0,75

Результати досліджень показали (табл. Б.9, Б.10), що вплив попередньо створених температурних напружень при десяти циклах охолодження – нагрівання на зменшення механічної втоми ЩМА-10, ЩМА-15, ЩМА-20 та ЛА-10, ЛА-15 на бітумах модифікованих полімером, що їх міцність зменшилась в 1,1 – 1,3 рази. Це свідчить про те, що асфальтобетон литий та щебеневомастиковий володіє високою деформативністю при коливанні температур.

Також встановлено, що умові критерію граничного стану, який становить 0,75, відповідають усі досліджувані асфальтобетони при використанні БМП при вмісту полімеру Kraton D1101 у кількості 3 %, полімеру Butonal NS 198 – 4 %, полімеру Elvaloy 4170– 1,5 %, а також на КПБВ «Полігум».

Б. 5 Визначення розрахункового модуля пружності

Таблиця Б.13 – Значення коефіцієнту Пуассона в залежності від температури асфальтобетону литого

Коефіцієнт Пуассона	Температура, °С				
	0	+10	+20	+30	+40
μ	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39

Результати визначення модуля пружності ЛА-10, ЛА-15 наведені в (табл. Б.12, Б.13) та (рис.Б.6).

Таблиця Б.14 – Модуль пружності асфальтобетону литого ЛА-10 та ЛА-15 при часу дії навантаження $t = 10^{-6}$ с

Шифр	V^2 , м/с	ρ , кг/м ³	E, МПа	Шифр	V^2 , м/с	ρ , кг/м ³	E, МПа
ЛА-10	12710	2,34	29741,4	ЛА-15	12810	2,41	30872,1
	12732	2,34	29792,9		12698	2,42	30729,2
	12642	2,38	30088,0		12641	2,44	30844,0
	12611	2,35	29635,9		12691	2,45	31093,0
	12619	2,34	29528,5		12733	2,39	30431,9
	12609	2,37	29883,3		12720	2,42	30782,4
	12605	2,38	29999,9		12695	2,43	30848,9
Середнє значення	12647	2,36	29810	Середнє значення	12713	2,42	30800

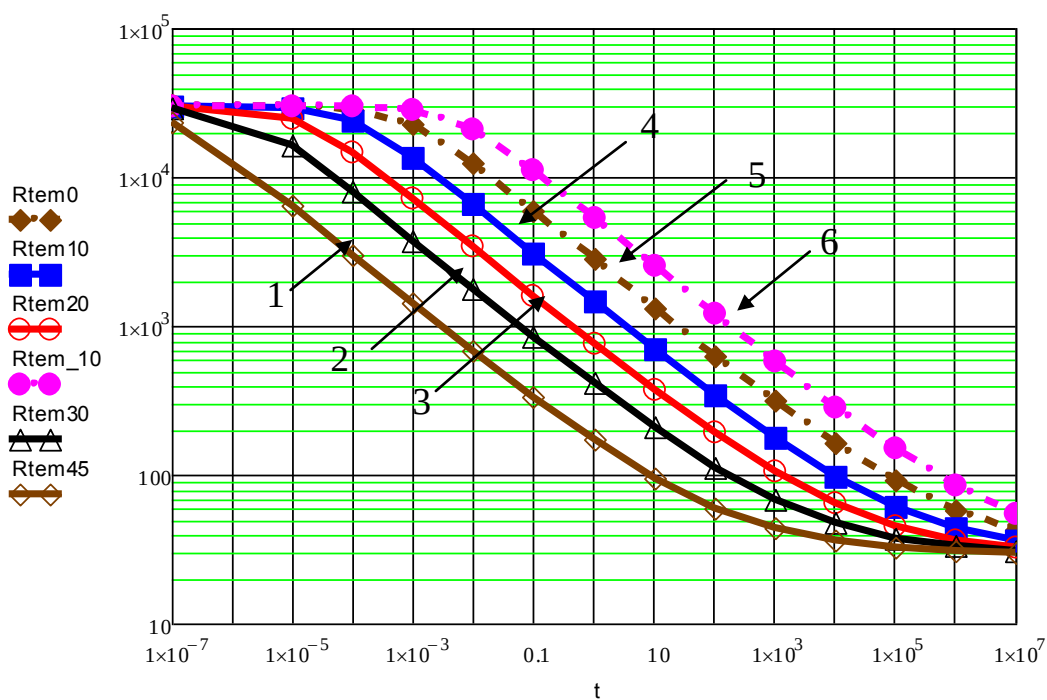


Рисунок Б.6 – Типові криві функції релаксації ЛА-10 на в'язучому СРВА:
 Δ – експериментальні точки, отримані методом температурно-часового зміщення; криві функції релаксації при температурі: від часу дії навантаження і температури: 1 – при $T = 45$ °C; 2 – при $T = 30$ °C; 3 – при $T = 20$ °C; 4 – при $T = 10$ °C; 5 – при $T = 0$ °C; 6 – при $T = -10$ °C

Таблиця Б.15 – Результати функції релаксації асфальтобетону литого ЛА-10 для різних температур

Log t, с	При T=45 °C	При T=30 °C	При T=20 °C	При T=10 °C	При T=0 °C	При T=-10 °C
	R(t), МПа	R(t), МПа	R(t), МПа	R(t), МПа	R(t), МПа	R(t), МПа
-7	14680	28270	29810	29970	29983	29985
-6	6861	20820	28410	29830	29970	29983
-5	3095	10650	21280	28540	29840	29970
-4	1399	4851	10990	21730	28670	29860
-3	641	2186	5017	11350	22170	28780
-2	302	996	2261	5189	11720	22600
-1	151	460	1026	2339	5367	12090
0	83	221	475	1061	2419	5550
1	53	115	228	490	1097	2502
2	39	67	118	235	506	1134
3	34	46	69	121	242	523
4	31	37	47	70	124	249
5	30	32	37	47	72	128
6	29	29	33	37	48	72

Таблиця Б.16 – Результати функції релаксації асфальтобетону литого ЛА-15 для різних температур

Log t, с	При T=45 °C	При T=30 °C	При T=20 °C	При T=10 °C	При T=0 °C	При T=-10 °C
	R(t), МПа	R(t), МПа	R(t), МПа	R(t), МПа	R(t), МПа	R(t), МПа
-7	13960	28870	30620	30790	30800	30800
-6	6468	20900	29180	30650	30790	30800
-5	2917	10580	21860	29450	30680	30798
-4	1321	4814	11290	22790	29670	30700
-3	607	2171	5154	12050	23670	29860
-2	288	987	2324	5518	12840	24510
-1	146	458	1055	2488	5908	13670
0	82	222	489	1129	2663	6324
1	54	116	235	521	1207	2851
2	41	69	122	250	556	1291
3	36	48	72	129	266	594
4	33	39	49	75	136	283
5	32	34	39	51	78	143
6	31	33	35	40	52	81

Таблиця Б.17 – Експериментально встановлені коефіцієнти температурно-часового зміщення $\alpha_T(T)$ асфальтобетону литого і температурної чутливості p при $Q=20$ °C

Позначення складу	$\ln \alpha_T(T)$ при (в °C)					p , град ⁻¹
	45	30	10	0	-10	
ЛА-15	6,25	2,5	-2,5	-5	-7,5	0,25
ЛА-10	6,0	2,4	-2,4	-4,8	-7,2	0,24

Таблиця Б.18 – Термореологічні характеристики асфальтобетону литого

Позначення складу	Параметри функції температурно-часового зсуву		Параметри функції релаксації			
	T_s , °C	P , град ⁻¹	H , МПа	B , МПа	τ , с	m
ЛА-15	20	0,25	31	30800	$0,6 \cdot 10^{-5}$	0,35
ЛА-10	20	0,24	29	29985	$0,6 \cdot 10^{-5}$	0,35

Отримані результати модулів пружності (табл. Б.15, Б.16) та (рис.Б.6). показали, що модуль пружності в асфальтобетоні литому ЛА-15 більший в 1,03-1,10 рази в порівнянні з асфальтобетоном литим ЛА-10. Розбіжність отриманих результатів не перевищує 12 %.

ДОДАТОК В
ФАКТИЧНІ ДЕФОРМАЦІЇ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЛИСТА
ОРТОТРОПНОЇ ПЛИТИ МЕТАЛЕВОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СПОРУДИ
НА ПРИКЛАДІ ПІВДЕННОГО МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ ЧЕРЕЗ
Р. ДНІПРО В М. КИЄВІ

В.1 Результати натурних випробувань загальні деформації поперечника прогонової будови при дії рухомого навантаження

Випробування вантової частини ортотропної плити проводилися за 4-ма основними схемами:

а) реєстрація динамічних прогинів характерних точок поперечника прогонової будови в прольоті 13 – 14 для отримання загальної картини деформацій;

б) реєстрація динамічних прогинів кінця консолі поперечника прогонової будови над опорою 14 для отримання картини деформацій консолі відносно несучої коробки;

в) реєстрація динамічних прогинів горизонтального листа ортотропної плити для отримання картини локальних деформацій відносно поздовжніх ребер;

г) реєстрація прискорень на поверхні проїзної частини крайньої правої смуги руху автотранспорту.

Загальні деформації поперечника прогонової будови Південного мостового переходу реєструвалися у чверті прольоту 13 – 14 (17,5 м від опори 14). Вимірювання виконувалися для 7 характерних точок поперечника (рис. В.1). Реєстрація прогинів прогонової будови виконувалася відносно землі з використанням прогиномірів на тензометричній основі. Зв'язок між точками прогонової будови, прогиномірами та землею виконувався з використанням сталевих струн. Прогини вимірювалися з точністю відліку 0,01 мм. Частота

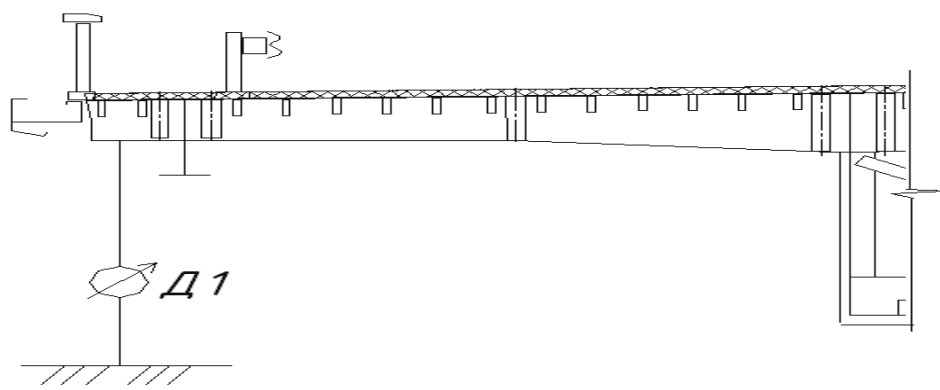


Рисунок В.2 – Схема розташування прогиноміру

Локальні деформації горизонтального листа ортотропної плити

Вимірювання виконувалися на консольній частині ортотропної плити з низової сторони над лівобережним стояном 14. Товщина листа 12мм, що перевірено ультразвуковим товщиноміром. Виконувалася реєстрація динамічних прогинів горизонтального листа відносно поздовжніх ребер посередині прольоту між поперечними балками. Вимірювання виконувалися для 4 секцій між поздовжніми ребрами в зоні колії крайньої правої смуги руху, також виконувалися вимірювання загальної деформації поздовжнього ребра відносно землі (рис. В.3 та рис. В.4).

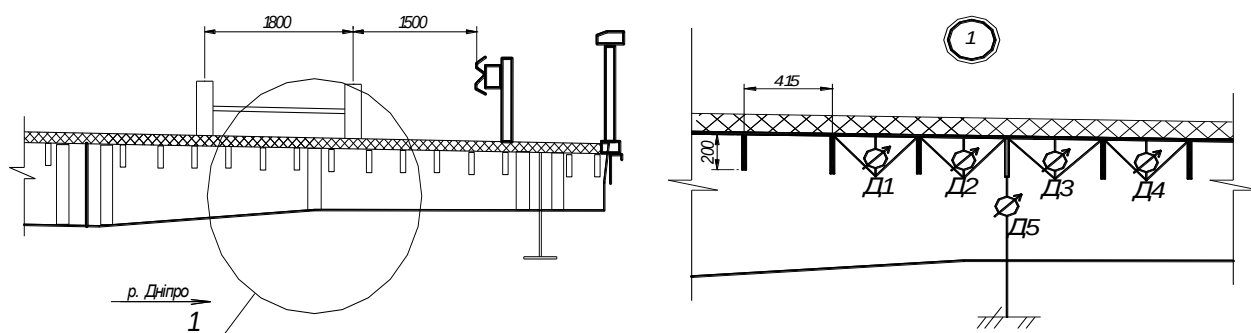


Рисунок В.3 – Схема розташування датчиків для вимірювання локальних динамічних прогинів ортотропної плити



Рисунок В.4 – Фото датчиків для вимірювання локальних динамічних прогинів ортотропної плити

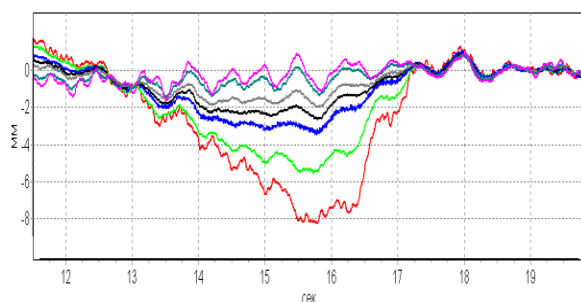
Натурні прискорення вимірювалися з використанням сейсмоприймача ОСП-2МВ, який встановлювався на проїзну частину в лінії бар'єрної огорожі біля тротуару.

В.3 Результати натурних досліджень та випробувань вантової прогонової будови

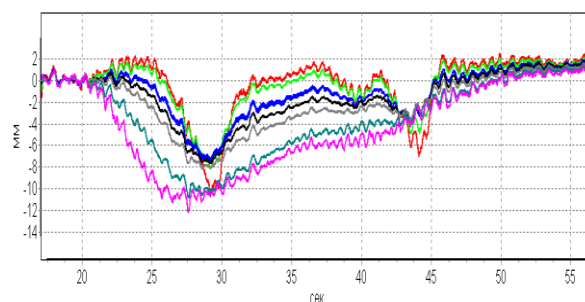
Максимальні зареєстровані квазістатичні прогини для вертикальних ребер несучих коробок при проїзді окремих вантажівок є на рівні 5,5 мм з відповідним скручуванням поперечника в сторону прикладання навантаження (рис. В.5, а). Консольні частини при розташуванні на них навантаження отримують додатковий прогин на рівні 2 – 3 мм.

При проїзді поїздів метрополітену максимальні зареєстровані квазістатичні прогини для вертикальних ребер несучих коробок є в межах 10 – 16 мм (рис. В.5, б). Консольні частини поперечника при цьому не отримують відчутних викривлень, оскільки перебувають поза зоною прикладення навантаження.

Коливання поперечника відбуваються за багатьма формами з максимальними амплітудами на частотах в діапазоні від 0,9 Гц до 2,2 Гц.



а)



б)

Рисунок В.5 – Графіки прогинів при проїзді транспортних засобів по ортотропній плиті: а – проїзд п'ятивісної вантажівки, б – проїзд поїзда метрополітену одночасно з вантажівкою

Амплітуди коливання які формуються головними несучими конструкціями прогонової будови, знаходяться на рівні 0,5 – 3,0 мм та залежать від маси та швидкості транспортного засобу, що проїжджає. Окрім цього на їх фоні наявні коливання з більшими частотами, які формуються локальними власними та вимушеними коливаннями ортотропної плити.

Так при проїзді метрополітену переважають вимушені коливання на частотах від 6 Гц до 14 Гц з амплітудами близько 0,5 мм. Проїзд вантажівки по консолі переважно викликає її вимушені коливання на частотах близьких до 4,5 Гц з амплітудами 0,6 – 0,8 мм [3].

Максимальні динамічні прогини консолі поблизу опори були на рівні 4,0 мм, при цьому квазістатичний прогин становить 3,6 мм [3]. Від цього прогину слід відняти значення загального прогину прольоту довжиною 80,5 м на відстані 2,0 м від опори, що в даному випадку є на рівні 0,5 мм при знаходженні вантажівки в середині прольоту.

Максимальні прогини консолі в середині прольоту відносно землі зафіксовані на рівні близькому до 15 мм [3]. Вказаний максимум фіксується як при завантаженні прольоту автомобілями, коли враховується спільний прогин несучої коробки та прогин консолі, так і при завантаженні одиночним поїздом метро, коли власний прогин консолі відсутній.

Власна частота коливань консолі близька до 7,4 Гц (за формою без викривлення фасадної лінії). Коливання консолі завантаженої автомобілем

відбуваються за різними формами викривлення фасадної лінії в діапазоні частот від 4,5 Гц до 13,0 Гц. При цьому під час проїзду поїзда метро явно відбувається підсилення амплітуд вимушених коливань консолі на частотах близьких до 8,5 Гц з амплітудою коливань на рівні 0,5 мм [3].

В панелі, яка найчастіше отримує максимальні деформації, було закріплено тензометр Гугенбергера. Візуальним спостереженням за максимальними відхиленнями стрілки тензометра встановлено, що при максимальних навантаженнях розтягуючі напруження поперек осі мосту в нижніх волокнах горизонтального листа ортотропної плити в середині панелі знаходяться в межах 150 – 200 МПа.

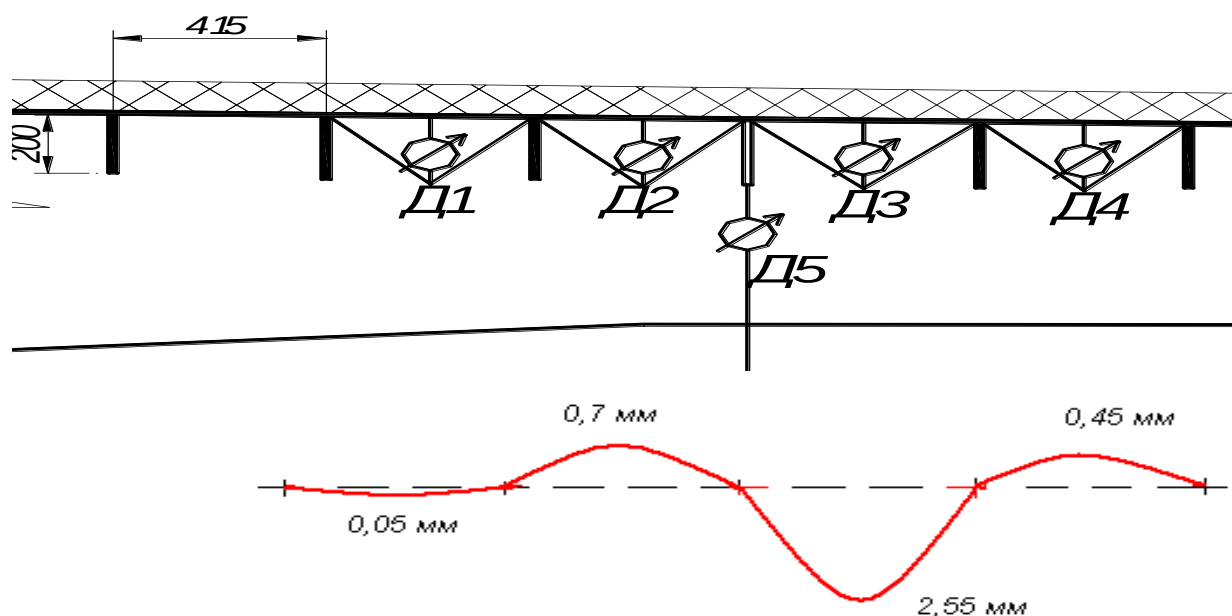


Рисунок В.6 – Графік прогинів ортотропної плити при проїзді п'ятивісної вантажівки

Натурні випробування ортотропної плити дозволили отримати фактичну картину деформацій горизонтального листа, на який вкрито дорожній одяг, під колесом автомобіля. Аналіз вказаних деформацій показує, що максимальні деформації листа відбуваються при наїзді одиночного колеса задніх осей сучасних тягачів з причепами. При цьому задня вісь тягача, яка має спарені колеса, створює деформації у два рази менші, у порівнянні з неспареним

колесом. За нормами проектування плита розраховувалася на спарене колесо, тому працює в перевантаженому режимі. Оскільки лист ортотропної плити є основою для дорожнього покриття, то надмірні його деформації, і є однією з причин появи в асфальтобетоні поздовжніх тріщин з кроком близьким до кроку поздовжніх ребер ортотропної плити.

За результатами випробувань максимальні зареєстровані прогини панелі вниз були на рівні 2,0 мм для переважної більшості вантажівок (рис. В.5). Також були зафіксовані прогини на рівні 2,5 мм для окремих, явно перевантажених автомобілів (рис. В.6). Деформації листа уверх для сусідніх панелей були на рівні 0,45 мм та 0,7 мм відповідно. При цьому деформації листа вже в наступних панелях були на рівні похибки вимірювання.

Зареєстровані значення прискорень максимальні при проїзді поїзда метро та перевищують величину в 2 м/с^2 [3]. Частоти вимушених коливань консолі при цьому близькі до 10 Гц (в діапазоні 8 – 13 Гц). Прискорення, які викликані власними формами коливань прогонової будови (до 2 Гц), є на рівні $0,5 \text{ м/с}^2$ [3].

Значення заміряних прискорень співпадають з прискореннями, які ортимані подвійним диференціюванням прогинів консолі (рис. В.16).

Результати показали, що мінімальне переміщення при проїзді п'ятивісної вантажівки в зоні закладання датчиків (Д 1 – Д 2) становить 0,05 мм, а максимальне переміщення в зоні закладання датчиків (Д 2 – Д 3) між ребром жорсткості датчик (Д 5) становить 2,55 мм, що призводить до суттєвого руйнування асфальтобетонного покриття.

Також встановлено, що при русі транспортного засобу по металевій споруді прогин ортотропної плити між ребрами в 1,3 рази більший ніж над ребрами жорсткості [3]. Це свідчить про те, що розтягуючі напруження, які виникають в асфальтобетонному покритті над ребрами жорсткості менші в 1,25 рази ніж напруження котрі виникають між ребрами.

ДОДАТОК Г
ЗАКОНОМІРНОСТІ ДІЇ ВПЛИВОВИХ ФАКТОРІВ ТА
ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА
ОРТОТРОПНІЙ ПЛИТІ МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Г.1 Напружено-деформований стан асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд

Метою роботи є провести моделювання методом скінчених елементів напружено-деформованого стану ортотропної плити під дією одиничного навантаження.

Для розгляду було виділено фрагмент плити що знаходиться між головними та поперечними балками розміром 4,8м x 4,8м, та має 8 ребер жорсткості. Оскільки балки мають суттєво більшу жорсткість ніж ортотропна плита, припущено, що елементи конструкції ортотропної плити, які розташовані над балками жорстко закріплені. На покриття, що влаштоване на ортотропній плиті від коліс транспортних засобів ($D=34,5$ см) діє одиничний тиск $P=1$ МПа. Числовий експеримент передбачає різні значення параметрів товщини асфальтобетонного шару $H = 50; 70; 90; 110$ мм, товщини сталевго настилу $h = 12; 14; 16; 20$ мм, різні значень модуля пружності асфальтобетонного шару $E = 2000; 4000; 6000; 8000; 10000; 12000$ Незмінними залишались такі параметри, як: коефіцієнт Пуасона асфальтобетону 0,35, модуль пружності сталі $2,06 \cdot 10^{11}$ Па, коефіцієнт Пуасона сталі 0,26, геометричні параметри ребер. На рисунку Г.1 запропоновано геометричні параметри заданої моделі.

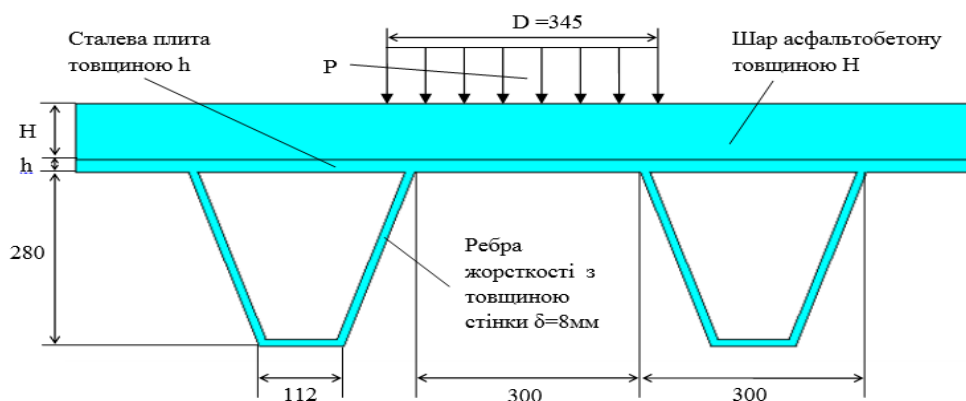


Рисунок Г.1 – Геометричні параметри моделі

Застосувавши метод скінченних елементів геометричну модель апроксимовано сіткою скінчених елементів (рис. Г.2). Ортотропна плита та ребра жорсткості розбито на 3 елементи по товщині, у місцях прикладення навантаження та стиках сітка стущена.

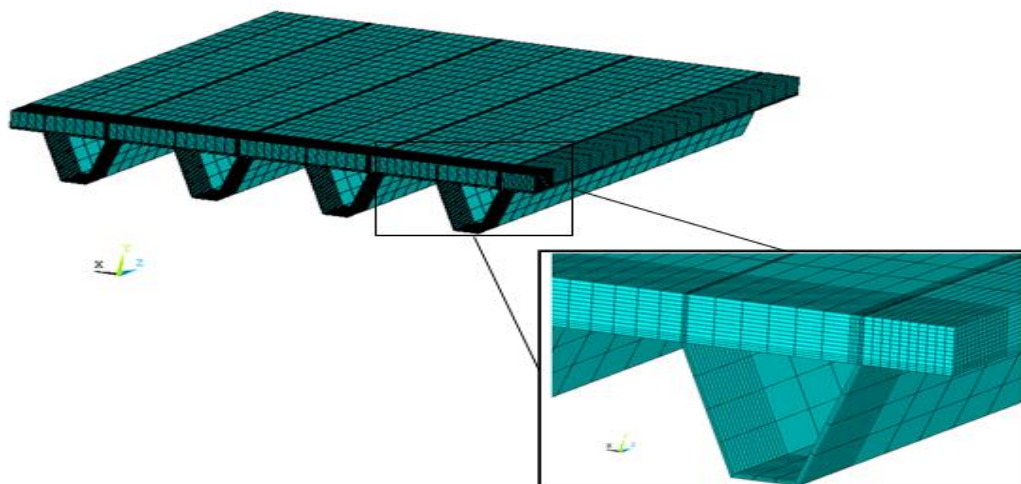


Рисунок Г.1 – Апроксимація моделі скінченоелементною сіткою

Отримаємо деформований стан одного із варіантів конструкції плити при дії одиничного навантаження в збільшеному масштабі (рис. Г.3).

Оскільки навантаження та конструкція мають поперечну та повздовжню симетрію, було розглянуто чверть моделі, яка отримується в результаті відсікання площинами симетрії, що проходять через центр симетрії конструкції, з накладанням умов симетрії відносно вказаних площин (рис. Г.4).

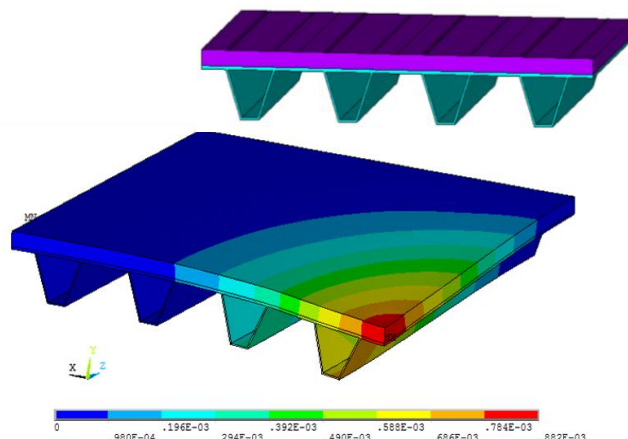
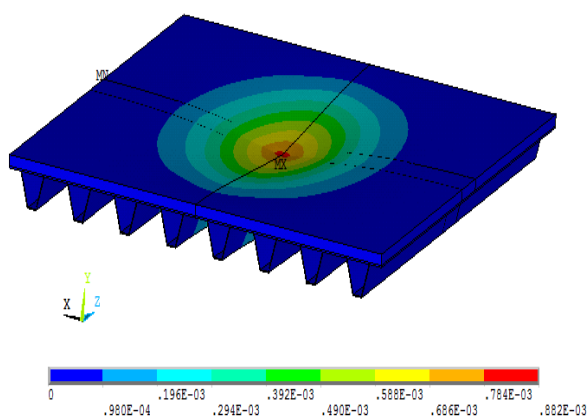


Рисунок Г.3 – Деформований стан конструкції при дії одиничного навантаження
Рисунок Г.4 – Недеформований стан чверті моделі.

Для кожного числового експерименту визначалися максимальні розтягуючі напруження в асфальтобетонному покритті σ_x , σ_y , σ_z , максимальні дотичні напруження τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yz} (рис. Г.5), а також максимальні переміщення та максимальні еквівалентні напруження за Мізесом.

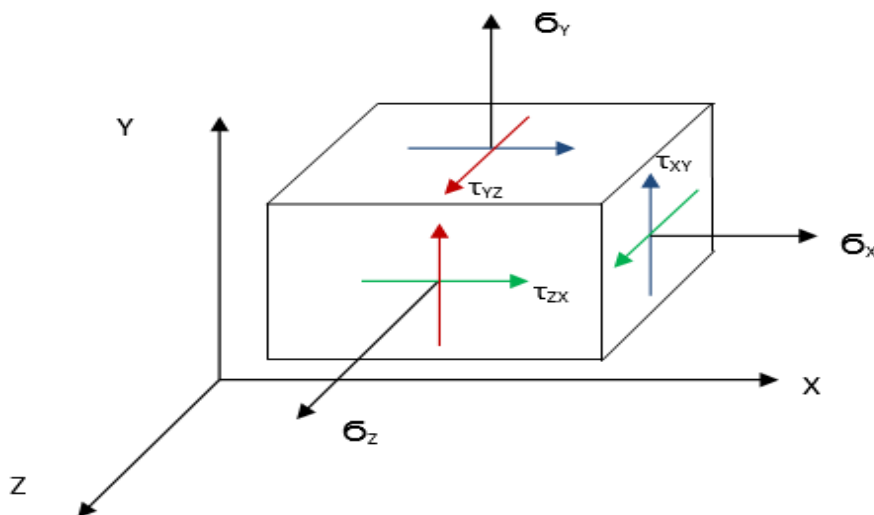


Рисунок Г.5 – Напруження які діють на елемент асфальтобетонного покриття

З урахуванням визначених максимальних розтягуючих напружень в асфальтобетонному покритті σ_x , σ_y , σ_z та максимальні дотичні напруження τ_{xy} ,

τ_{xz} , τ_{yz} . Отримано розподіл полів максимальних розтягуючих напружень (рис. Г.6, рис Г.7), а також розподіл полів максимальних дотичних напружень (рис. Г.8, рис Г.9).

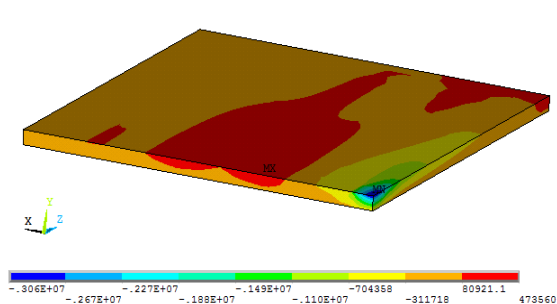


Рисунок Г.6 – Розподіл нормальних напружень σ_x в асфальтобетоні

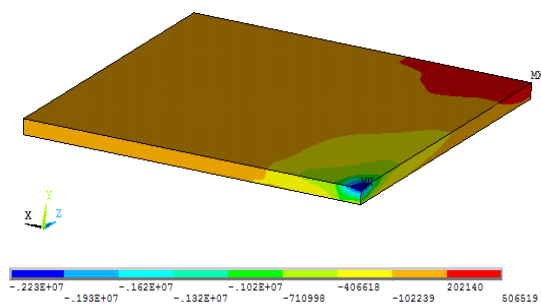


Рисунок Г.7 – Розподіл нормальних напружень σ_z в асфальтобетоні

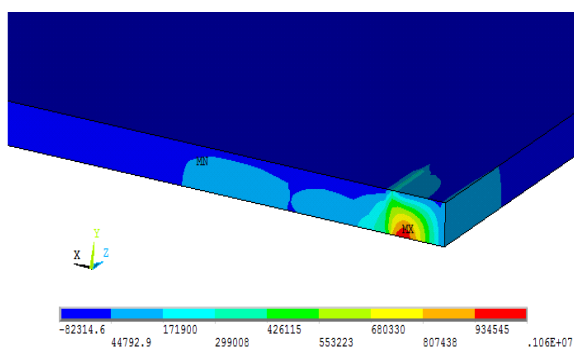


Рисунок Г.8 – Розподіл дотичних напружень τ_{xy} в асфальтобетоні

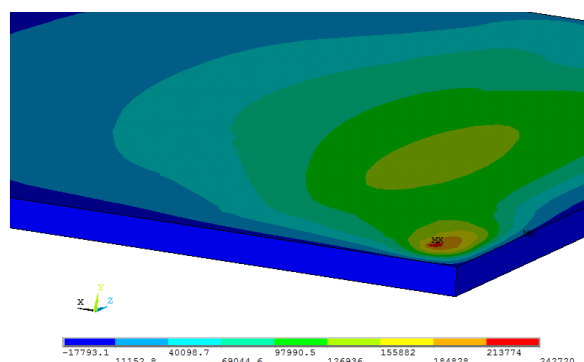


Рисунок Г.9 – Розподіл дотичних напружень τ_{xz} в асфальтобетоні

Г.2 Числовий аналіз асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд

За результатами числового аналізу асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд, залежно від товщини та максимального розрахункового навантаження, зроблено висновок про те, що розрахунковий строк служби литого асфальтобетону на комплексному полімер-бітумному

в'язучому «Полігум» на прикладі асфальтобетону литого типу ЛА-15 при товщині 7,0 см становить 16 років, при товщині 8,0 см – 18,9 років, а при товщині 9,0 см – 21,4 роки (рис. Г.10). Це свідчить про те, що розрахунковий строк служби збільшується із збільшенням товщини асфальтобетонного покриття.

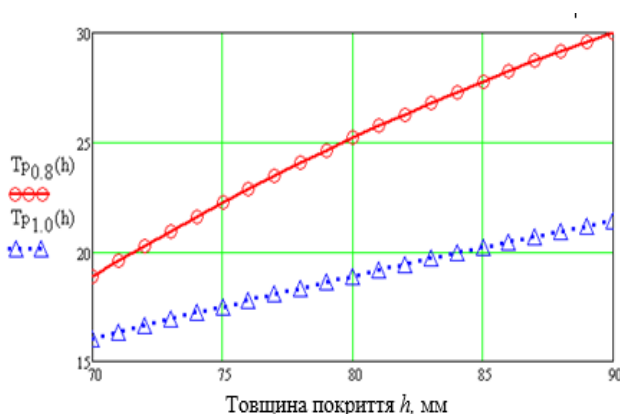


Рисунок Г.10 – Залежність строку служби асфальтобетонного покриття з литого асфальтобетону на металевих транспортних спорудах від товщини покриття

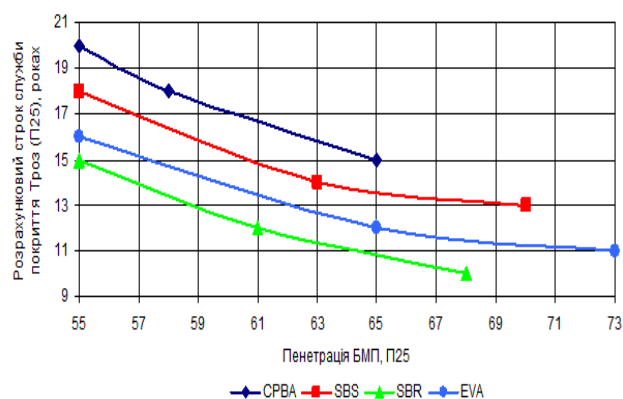


Рисунок Г.11 – Залежність розрахункового строку служби покриття з литого асфальтобетону від в'язкості бітуму модифікованого полімером

Числовий аналіз показав, що при значенні показника пенетрації $P_{25} = 55$ (рис Г.11) розрахунковий строк служби асфальтобетонного покриття на КПБВ «Полігум» становить 20,1 роки, SBS (Kraton D1101) – 17,9 років, SBR (Butonal NS 198) – 13,4 років, а на EVA (Elvaloy 4170) – 16,0 років. А при пенетрації $P_{25} = 65$ розрахунковий строк служби асфальтобетонного покриття на КПБВ «Полігум» становить 15,0 років, SBS (Kraton D1101) – 13,4 років, SBR (Butonal NS 198) – 10,9 років, а на EVA (Elvaloy 4170) – 12,1 років. Це свідчить про те, що зі зменшенням в'язкості бітуму модифікованого полімером збільшується розрахунковий строк служби.

ДОДАТОК І
ТЕХНОЛОГІЯ УЛАШТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ЛИТОГО
ПОКРИТТЯ НА ОРТОТРОПНІЙ ПЛИТІ МЕТАЛЕВИХ
ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Рисунок І.1 – Улаштування одною захваткою покриття з литого асфальтобетону на ортотропній металевій транспортній споруді на прикладі Південного мостового переходу у м. Києві

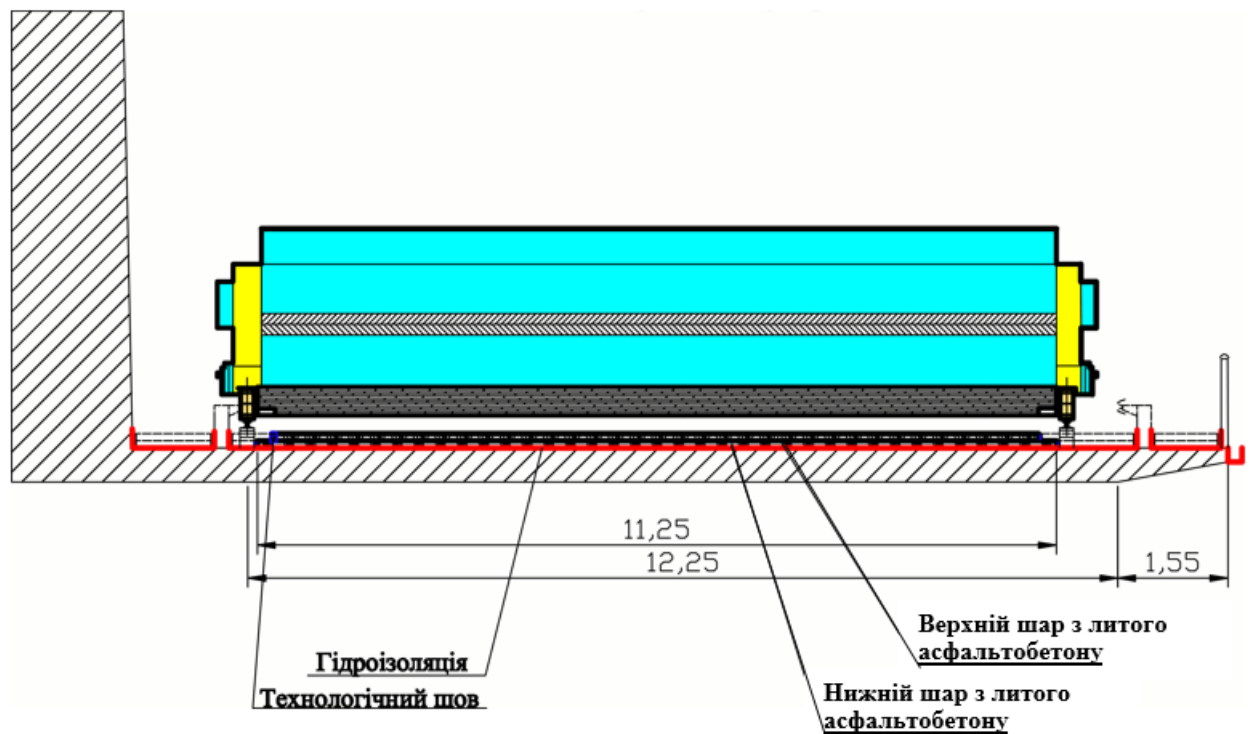
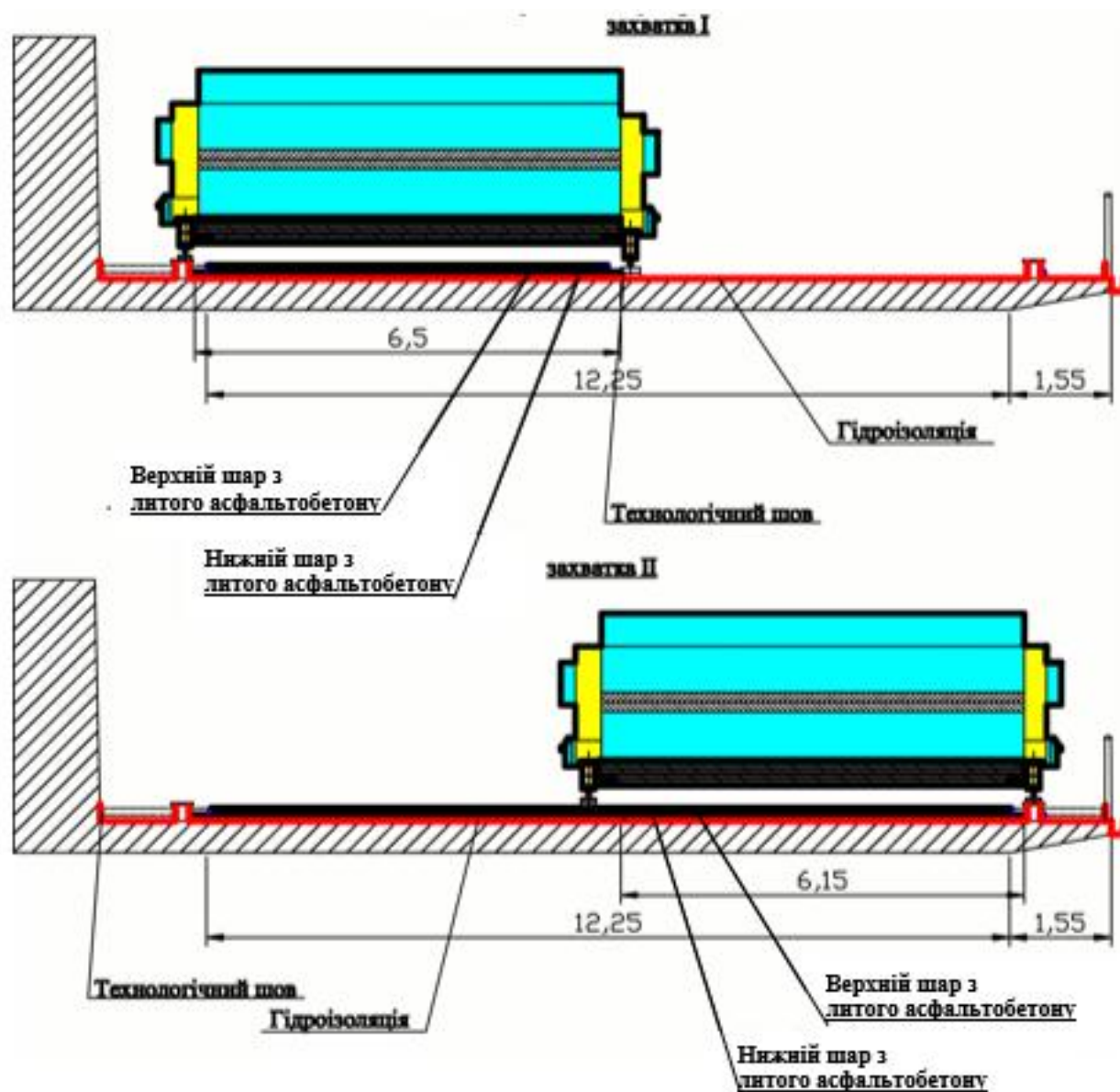


Рисунок Г.2 – Улаштування двома захватками покриття з литого асфальтобетону на ортотропній металевій транспортній споруді на прикладі Південного мостового переходу у м. Києві



Таблиця Г.1 – Календарний графік виконання робіт капітального ремонту поверхні ортотропної плити одною захваткою

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
Установка тимчасових знаків і огорожень																																			
Демонтаж існуючого бар'єрного огороження																																			
Демонтаж деформаційних компенсаторів																																			
Монтаж нових деформаційних компенсаторів																																			
Демонтаж існуючого а.б. покриття																																			
Знімання існуючої гідроізоляції																																			
Дробострумнневе очищення ортотропної плити																																			
Грунтування плити ґрунтовою Zed S-94																																			
Нанесення 1-го шару гідроізоляції Eliminator																																			
Нанесення 2-го шару гідроізоляції Eliminator																																			
Нанесення шару зчеплення Task-Coat №2																																			
Улаштування рейок і опалубки для гусасфальту																																			
Зйомка фактичного профілю плити																																			
Улаштування 1-го шару Гусасфальту (мех.)																																			
Переміщення фінішуру																																			
Улаштування 2-го шару Гусасфальту (мех.)																																			
Демонтаж рейок і опалубки, прибирання поверхні																																			
Герметизація технологічних швів і примикань																																			
Улаштування 1-го шару Гусасфальту (ручн.)																																			
Улаштування 2-го шару Гусасфальту (ручн.)																																			
Монтаж цоколів під бар'єрне огороження																																			
Монтаж нового бар'єрного огороження																																			
Прибирання чорного щебеню, що не пристав																																			
Нанесення розмітки																																			
Прибирання тимчасових знаків і огорожень																																			
Переключення руху транспорту на другу захватку																																			

Кінець табл Г.1

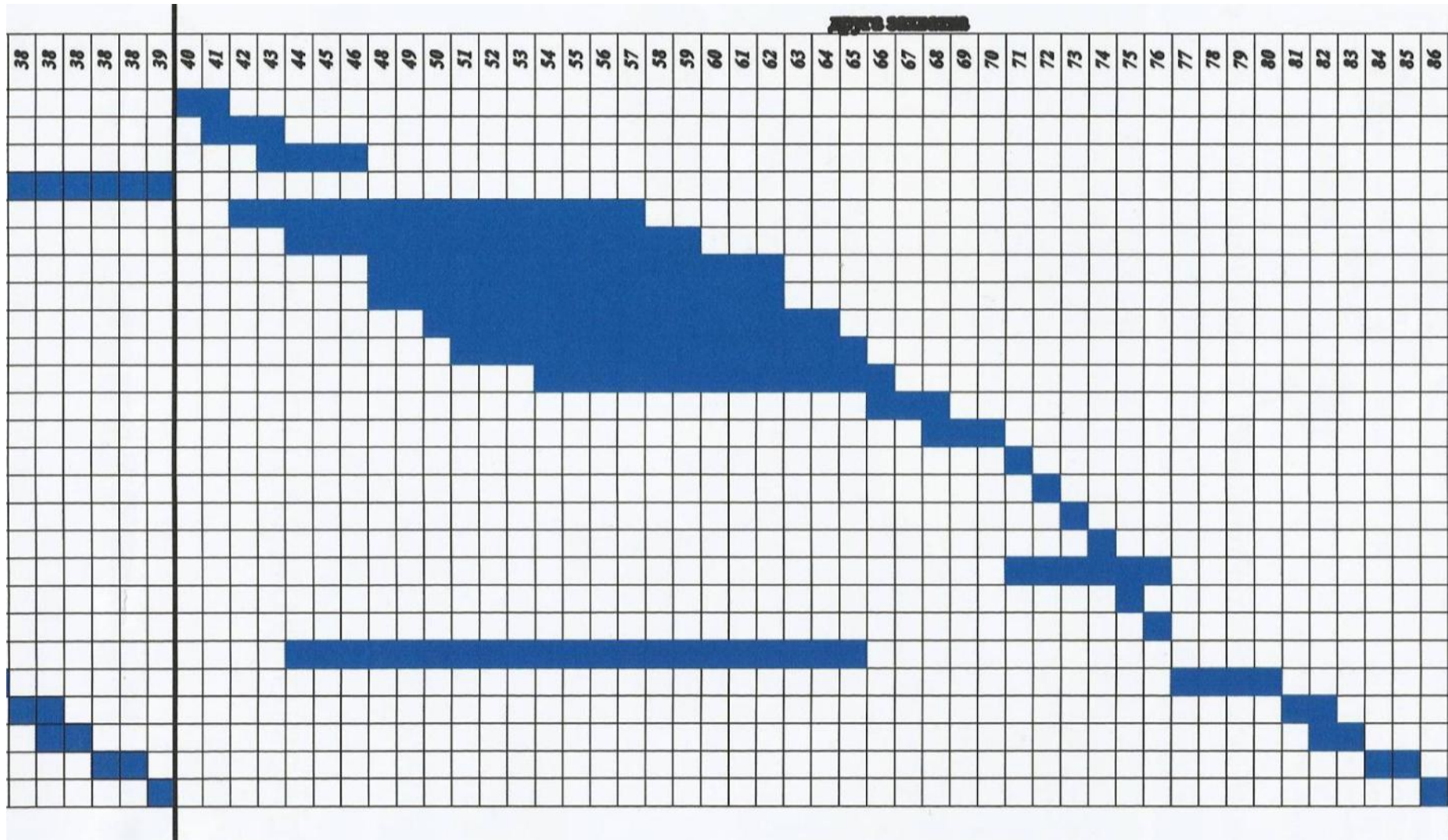


Таблица Г.2 – Календарний графік виконання робіт капітального ремонту поверхні ортотропної плити двома захватками

ДОДАТОК Д

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСЕРТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Економічна ефективність влаштування водонепроникного асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах при використанні нових технологій і матеріалів, визначається переважно розрахунками порівняльної ефективності капітальних вкладень на основі порівняння витрат на виконання робіт по традиційній схемі з витратами на той же обсяг робіт з використанням водонепроникного асфальтобетонного покриття з використанням КПБВ «Полігум».

Ефективність застосовування водонепроникного асфальтобетонного покриття з підвищеною довговічністю за рахунок використання бітуму модифікованого полімерами, оцінюється шляхом співставлення на прикладі при застосуванні литого асфальтобетону (ЛА) на основі чистого бітуму та такого ж асфальтобетону з використанням КПБВ Полігум.

Кількісним вимірником рівня ефективності капітальних вкладень служить коефіцієнт ефективності E [182, 183]:

$$E = \frac{C_P^I - C_P^{II}}{K_{PP}^{II} - K_{PP}^I}, \quad (1)$$

де K_{PP}^{II} і K_{PP}^I – приведенні до останнього року будівництва одноразові витрати за варіантами відповідно при використанні литого асфальтобетону (ЛА) з використанням КПБВ «Полігум» та такого ж асфальтобетону на основі чистого бітуму;

C_P^I і C_P^{II} – поточні витрати за тими ж варіантами за один розрахунковий рік експлуатації покриття.

Згідно [182, 183] капітальні вкладення вважаються ефективними, якщо $E > E_H$ ($E_H = 0,12$).

До складу одноразових витрат входять:

- капітальні вкладення, реалізовані до початку експлуатації покриття чи його реконструкції (капітального ремонту).

При порівнянні варіантів до складу поточних витрат включають витрати на усі види ремонту і утримання покриття на металевих транспортних спорудах.

Відповідно до п. 2.8.3 [187], міжремонтний строк служби одягу (покриття) – період в роках від здачі дороги (об'єкту) в експлуатацію до першого капітального (поточного) ремонту або між суміжними капітальними (поточними) ремонтами.

Визначимо необхідні параметри для підрахунку ефективності влаштування водонепроникного асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах із застосуванням бітуму модифікованого полімером (ЛА на основі КПБВ «Полігум») у порівнянні з ЛА на основі чистого бітуму.

Для підрахунку розглянемо мережу металевих транспортних споруд на автомобільних дорогах державного значення в межах України.

Визначення параметрів для підрахунку проводимо з урахуванням даних відповідно до діючої нормативної документації, а саме:

- згідно з п. 8.1 [187], фізичний знос основних конструкцій транспортних споруд усіх систем і конструкцій відбувається нерівномірно, що обумовлено різними умовами їх роботи під впливом експлуатаційних навантажень. Даний факт встановлює періодичність ремонтних робіт для проїзної частини транспортних споруд [187], що наведена у таблиці Д.1;
- відповідно до [188], що розроблені для планування фінансових ресурсів на поточний ремонт та експлуатаційне утримання мережі автомобільних доріг України, як в цілому по Україні, так і по окремих регіонах з

урахуванням характеристик мережі доріг та регіональних умов їх експлуатації. У таблиці Д.2 наведено фізичні показники металевих транспортних споруд в межах України.

Таблиця Д.1 – Періодичність ремонтних робіт для проїзної частини металевих транспортних споруд

№ п/п	Ремонтні роботи	Періодичність, років
1	Ремонт нерівностей, вибоїн, тріщин у покритті	1
2	Нова поверхнева обробка	2
3	Заміна асфальтобетонного покриття	15

Таблиця Д.2 – Фізичні показники металевих транспортних споруд [188]

№ п/п	Вид споруди	Кількість, шт.	Протяжність, м.п.	Річна середньостатистична інтенсивність руху, авт./добу
I	Дороги державного значення			
1	Мости металеві	211	14 846	5 307

Таблиця Д.3 – Розрахункові обсяги робіт, їх періодичність на протязі року (або постійні (П)) та вартість робіт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання одного приведенного до умовного кілометра мережі автомобільних доріг загального користування державного значення [188]

№ п/п	Найменування робіт	Одиниця виміру	Періодичність (разів на рік)	Обсяг робіт на рік	Вартість одиниці виміру*, грн. з ПДВ	Загальна вартість, грн. з ПДВ
1	Ліквідація вибоїн, тріщин, осідань, колій з застосуванням асфальтобетонних сумішей, бітумних емульсій та інше з перевезенням матеріалів автосамоскидами КрАЗ на 60 км	100 м ²	1	1,5	7806,12	11 709,18
2	Ямковий ремонт покриття пневмоструменевим методом з перевезенням матеріалів автосамоскидами КрАЗ на 60 км	100 м ²	1	1,5	8167,02	12 250,53
Всього:						23 959,71

* - вартість одиниці робіт визначена на підставі ресурсного методу ціноутворення. В зазначеній вартості враховані: прямі, загальновиробничі, адміністративні витрати, кошти на зведення та розбирання тимчасових будівель та споруд виробничого та допоміжного призначення, кошторисний прибуток, податок на додану вартість.

Примітка:

- за умовний кілометр прийнятий один кілометр асфальтобетонного покриття шириною 7,5 м, на якому необхідно виконати поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання;
- розрахункові норми фінансових витрат на один умовний кілометр автомобільних доріг загального користування складені станом на 01.01.2014 року і підлягають перегляду при використанні нових технологій та матеріалів, а також можуть корегуватися на індекс інфляції щорічно [188].

Виходячи з даних, наведених у таблиці 3, маємо щорічні витрати на поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання дорожнього одягу (покриття) на металевих транспортних спорудах одного умовного кілометра доріг державного значення, що становлять з урахуванням індексу інфляції у розмірі 25 % за 2014 рік 29 949,24 грн. з ПДВ.

Капітальні вкладення при будівництві (реконструкції, капітальному ремонті) металевих транспортних споруд на влаштування нового асфальтобетонного покриття (приведено до одного умовного кілометра) на автомобільних дорогах державного значення, становлять (приведені станом на 2015 рік):

- $K_{\text{пр}}^I$ - 4 884 999,60 грн./ум. км (ЛА – чистий бітум);
- $K_{\text{пр}}^{II}$ - 5 139 752,85 грн./ум. км (ЛА – КПБВ «Полігум»).

Відповідно до таблиці Д.1, поточні дрібні ремонти та експлуатаційне утримання покриття на транспортних спорудах проводиться кожного року, нова поверхнева обробка влаштовується кожні два роки, а заміна / влаштування нового покриття – кожні 15 років.

Враховуючи те, що ЛА на основі бітуму модифікованого полімером на відміну від ЛА з використанням чистого бітуму має покращені фізико-

механічні властивості, термореологічні характеристики, підвищену міцність щеплення з основою при зсуві, що сприяє підвищенню його довговічності в 1,5 – 2,0 рази (розділ 2 та розділ 3 дисертації). Враховуючи це, в залежності від умов експлуатації, витрати на поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання асфальтобетонних покриттів на металевих транспортних спорудах, влаштованих із ЛА на основі КПБВ «Полігум», зменшаться щонайменше в 1,5 рази [184, 185, 186].

Отже, враховуючи дані Таблиці Д.1, при влаштуванні ЛА з використанням чистого бітуму кількість поточних дрібних ремонтів та експлуатаційного утримання на протязі 15-ти років становить – 15, а середніх – 7. Для ЛА на основі КПБВ «Полігум» поточних дрібних ремонтів та експлуатаційного утримання на протязі 15-ти років становить – 10, а середніх – 5.

Тоді, для ЛА (чистий бітум), C_p^I становитиме:

$$C_p^I = (29\,949,24 \cdot 15 + 209\,692,00 \cdot 7) / 15 = 127\,805,51 \text{ грн. з ПДВ,}$$

а C_p^{II} , для ЛА (КПБВ Полігум):

$$C_p^{II} = (29\,949,24 \cdot 10 + 209\,692,00 \cdot 5) / 15 = 89\,858,83 \text{ грн. з ПДВ.}$$

Таблиця Д.4 – Показники для розрахунку ефективності капітальних вкладень за двома варіантами будівництва

Найменування варіанту	Капітальні вкладення, грн./ум.км	Вкладення на поточний дрібний ремонт та експлуатаційне утримання, грн. рік/ум.км
ЛА (чистий бітум)	4 884 999,60	127 805,51
ЛА (комплексне бітумне в'язуче)	5 139 752,85	89 858,83

Використовуючи дані показники, проводимо розрахунок коефіцієнту ефективності (бітум модифікований полімером):

$$E_B = \frac{127\,805,51 - 89\,858,83}{5139\,752,85 - 4\,884\,999,60} = 0,15$$

Виходячи з цього, можна вважати, що капітальні вкладення у влаштування шарів асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах із застосуванням КПБВ «Полігум», є ефективними, так як $E_C = 0,15 > E_H = 0,12$.



Рисунок Д.1 – Співвідношення грошових витрат на поточний ремонт та експлуатаційне утримання асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах

Отже, аналізуючи результати економічних обґрунтувань, маємо такі висновки: литі асфальтобетони з використанням полімерів, мають задовільні техніко-економічні результати для подальшого практичного застосування у

виробничих умовах на об'єктах влаштування асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах [184, 185, 186].

Враховуючи вище наведені дані, Державне агентство автомобільних доріг України могло б економити щороку наступну орієнтовну суму із бюджетних асигнувань:

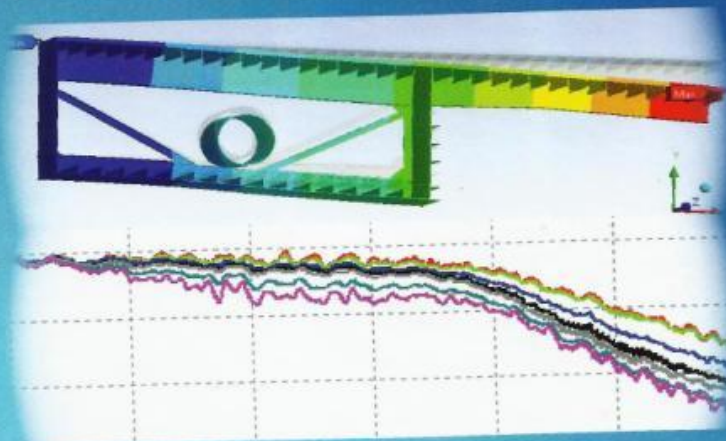
$$(127\,805,51 - 89\,858,83) \times 14,846 = 563\,356,41 \text{ грн. з ПДВ,}$$

де: 14,846 – загальна протяжність металевих транспортних споруд України на автомобільних дорогах загального користування державного значення в умовних кілометрах [188].

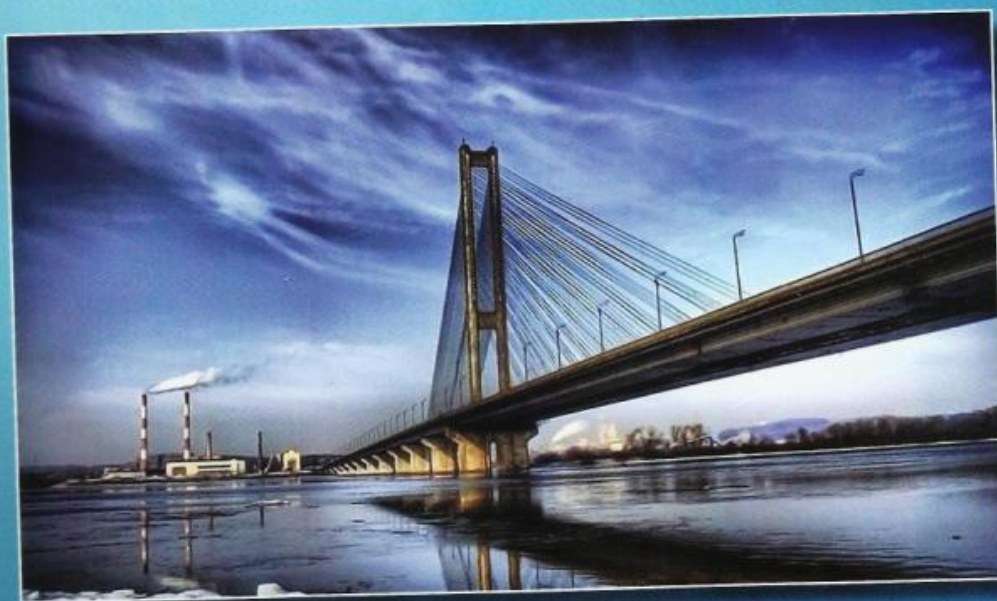
ДОДАТОК Ж

ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК

А.М. Онищенко, М.П. Кузьмінець
В.П. Редченко, Д.Й. Тарнопольський, С.Ю. Аксьонов



**Теоретичні та експериментальні дослідження
конструкції Південного мостового переходу
через р. Дніпро в м. Києві**





Україна, 01014, м. Київ, вул. Командарма Каменєва, 6, тел.: (044) 285-03-36, факс: (044) 284-75-20, e-mail: avtodor@kievavtodor.net.ua, http://www.kievavtodor.net.ua

18.05.2015 № 01-11/1110

На № _____ від _____

ДОВІДКА
Про впровадження наукових розробок
здобувача кафедри ДБМ і хімії, НТУ
Аксьонова Сергія Юрійовича

Молодшим науковим співробітником Аксьоновим С. Ю. вирішена важлива народногосподарська проблеми з підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах за рахунок створення теоретичних основ, що знайшли практичне використання при влаштуванні асфальтобетонного покриття на проїзній частині транспортних споруд в м. Києві у 2010-2016 років, що наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

№ п/п	Назва транспортної споруди	Рік	Конструкція дорожнього одягу
1	Залізнично-автомобільний мостовий перехід через р. Дніпро у м. Києві з підходами (сталь)	2010-2011	гідроізоляція с-ми «Eliminator» - 3 мм; Гусасфальт - 15 (нижній шар) 40 мм, Гусасфальт - 10 (верхній шар) 40 мм - з посипкою чорним щебенем фр. 5-10)
2	Металева прогонова будова вантової частини Південного мосту через р. Дніпро (Дарницький район м. Києва) (сталь)	2015-2016	гідроізоляція с-ми «Eliminator» два шари гусасфальту (нижній шар товщиною 50 мм - Гусасфальт - 15, верхній шар товщиною 40 мм - Гусасфальт - 10 з посипкою чорним щебенем фр. 5-10)
3	Металева прогонова будова вантової частини Московського мосту через р. Дніпро (Дніпровський район м. Києва) (сталь).	2015-2016	гідроізоляція с-ми «Eliminator» два шари гусасфальту (нижній шар - 50 мм) - Гусасфальт - 15, (верхній шар - 40 мм) - Гусасфальт - 10 з посипкою чорним щебенем фр. 5-10.

Конструкції, що були розроблені для даних об'єктів з урахуванням підвищених вимог до матеріалів, конструкцій та технології. Дозволяють підвищувати довговічність покриття, що в цілому дозволить економити кошти на ремонтні роботи.

Перший заступник
генерального директора
КК «Київавтодор»



В.Г. Мельниченко



СТАНДАРТ ОРГАНІЗАЦІЇ УКРАЇНИ

Будівельні матеріали

**БІТУМИ ДОРОЖНІ МОДИФІКОВАНІ З ВИКОРИСТАННЯМ
ЛАБОРАТОРНОЇ ЛОПАТЕВОЇ МІШАЛКИ**

Методи контролю процесу модифікації

COU 42.1-37641918-100:2013

Видання офіційне

КИЇВ
ДЕРЖАВНЕ АГЕНСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)
2013



ДОВІДКА
Про впровадження наукових розробок
Здобувача С.Ю. Аксьонова
Під керівництвом професора д.т.н. В.В. Мозгового

Цим підтверджую, виконувався технічний аудит фахівцями Національного транспортного університету під керівництвом проф. В.В. Мозгового виконавцем здобувачем С.Ю. Аксьоновим на контрактах № 1 - № 5 на замовлення "Mott MacDonald Limited" при реконструкції та капітальному ремонті автомобільної дороги державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський до параметрів І-б технічної категорії.

Програма технічного аудиту:

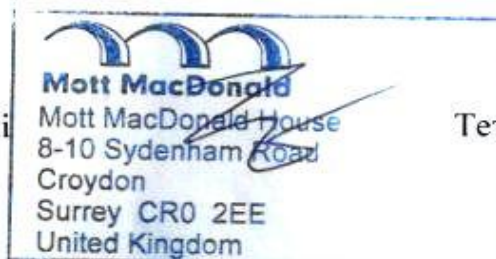
Відбір зразків-керна з дорожнього покриття на зазначених контрактах для лабораторних випробувань, а саме: фото-аналіз та візуальна оцінка дорожнього покриття, вимірювання товщини шарів дорожнього одягу, відносне ущільнення, визначення середньої щільності кожного шару покриття, наведених у результатах випробувань у порівнянні з проектною величиною, визначення пористості та залишкової пористості асфальтобетону, проведення аналізу вмісту бітуму для кожного шару асфальтобетонного покриття, аналіз гранулометричного складу асфальтобетонної суміші у відповідності до вимог ДСТУ Б В.2.7-119-2003, ДСТУ Б В.2.7-127:2006, ДСТУ Б В.2.7-89-99 та ВБН В.2.3-218-186-2004.

Вимірювання прогинів дорожнього покриття з використанням балки Бенкельмана для аналізу міцності асфальтобетонних шарів дорожнього одягу.

Аналіз результатів та обговорення пропозицій по підвищенню колієстійкості та тріщиностійкості дорожнього одягу на автомобільній дорозі державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський.

Професором В.В. Мозговим та здобувачем С.Ю. Аксьоновим на основі отриманих досліджень спільно з "Mott MacDonald Limited" обговорювались пропозиції з підвищення тріщиностійкості, колієстійкості та зсувостійкості асфальтобетонного покриття на мостах та автомобільній дорозі державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський.

Голова представництва
 "Mott MacDonald Limited" в Україні



Тетяна Чехет




 ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 48068

Літературний письмовий твір наукового характеру "Методика визначення тріщиностійкості та коліснійкості асфальтобетонних шарів конструкції дорожнього одягу з використанням доменних шлаків в шарах основи"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) **Мозговий Володимир Васильович, Онисенко Артур Миколайович, Липтсва Наталія Сергіївна, Гаркуша Микола Васильович, Аксьонов Сергій Юрійович**

(повне ім'я, по батьку (за наявності))

Авторські майнові права належать **Мозговий Володимир Васильович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Онисенко Артур Миколайович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Липтсва Наталія Сергіївна, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Гаркуша Микола Васильович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Аксьонов Сергій Юрійович, вул. Суворова-1, м. Київ-10, 01010; Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010**

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреси)

26.02.2013

Дата реєстрації


 Голова Державної служби інтелектуальної власності України
М.В. Ковіня

Товариство з обмеженою відповідальністю

«ТЕХНОЛОГІЇ БІТУМА»

Україна, м. Ужгород, вул. Гагаріна 101, каб. 721

ДОВІДКА

Про впровадження наукових розробок

здобувача Аксьонова С.Ю.

Наукові розробки Аксьонова С.Ю. знайшли практичне застосування по підвищенню тріщиностійності асфальтобетонного покриття за рахунок використання гідроізоляційного матеріалу «FLEXIGUM HP» ТОВ «Технології-Бітума». Розроблені ним практичні рекомендації, а саме по ямковому ремонту асфальтобетонного покриття при використанні бітумно – емульсії «FLEXIGUM HP» в якості підгрунтовки; по застосуванню тріщиноперериваючого матеріалу «FLEXIGUM R» при будівництві, виконанні поточного, середнього і капітального ремонту асфальтобетонних шарів в м. Києві. Вищенаведені розробки дозволяють підвищувати колієстійкість, зсувостійкість та тріщиностійкість асфальтобетонного покриття на автомобільних дорогах загального і місцевого значення.

Генеральний директор
ТОВ «Технології Бітума»



Садовський О. А.



Науково-виробнича фірма
"МОСТОПРОЕКТ"

03164; м. Київ, вул. Осіння 33, секція 5,
оф. 492, тел./факс: (044) 423-83-22;
E-mail: mproekt@ukr.net

ISO 9001:2009
Сертифікат:
UA 2.046.05076-10

ЛІЦЕНЗІЯ № АГ 577378 ВІД 26.04.2011 Р. МІНІСТЕРСТВО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ТА БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок
здобувача НТУ Аксьонова С.Ю.

Цим підтверджую, що розробки здобувача Аксьонова С. Ю. по підвищенню колієстійкості, зсувостійкості та тріщиностійкості асфальтобетонного покриття отримали практичне застосування при проектуванні реконструкції / капітального ремонту автомобільних доріг загального користування державного значення, міських вулиць та доріг.

Розробки включені в проектну документацію на основі рекомендацій по підвищенню колієстійкості, зсувостійкості та тріщиностійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг.

Головний інженер проекту

НВФ «Мостопроєкт»

Замана Ігор Миколайович

ДОВІДКА
про впровадження наукових розробок
аспіранта кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії
Національного транспортного університету
Аксьонов Сергій Юрійович

Аспірантом кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, було розроблено для ТОВ «СПЕЦГІДРОЗАХИСТ» технологічні карти та технічні вимоги на влаштування гідроізоляцій різних бітумно-латексних матеріалів, а саме: гідроізоляція для захисту мостових споруд з використанням бітумно-латексної мастики «ELASTOFALT SPRAYKOTE 230»; гідроізоляція для будівельних конструкцій із застосуванням модифікованої бітумної емульсії «ELASTOFALT SPRAYKOTE 90, 45, 15»; гідроізоляція для будівельних конструкцій із застосуванням модифікованої бітумної емульсії «LATEXFALT SAFEGRIP SE»; гідроізоляція для будівельних конструкцій із застосуванням модифікованої бітумної емульсії «ELASTOFALT EP»; герметизації тріщин і стиків та влаштуванню температурних та деформаційних швів із застосуванням модифікованої полімерно – бітумної мастики «LATEXFALT JOINT FILL JE/RJ».

Цим підтверджую, що розроблені С.Ю. Аксьоновим технологічні карти знайшли практичне застосування, як в проектних організаціях так і в дорожніх організаціях.

Вище наведені розробки дозволяють підвищувати тріщиностійкість, колієстійкість та зсувостійкість, асфальтобетонного покриття на автомобільних дорогах загального та місцевого значення.

Директор

ТОВ «СПЕЦГІДРОЗАХИСТ»



Д.О. Садовський



Вих. № 46/08 від 23.08.2012 р.

ДОВІДКА
Про впровадження наукових розробок
здобувача Аксьонова С.Ю.

Наукові розробки Аксьонова С.Ю. знайшли практичне застосування при влаштуванні асфальтобетонних покриттів. Розроблені ним практичні рекомендації щодо підвищення довговічності асфальтобетонних покриттів за рахунок використання бітумного в'язучого «Полігум», що успішно застосовувались при капітальному ремонті та будівництві вулиць та доріг по всій території України серед них в 2011 р. м. Києві (вул. Урлівська, вул. Артема), та м. Євпаторія (картодром Crimea GP) 2012р. та багато інших об'єктів.

Директор ТОВ «Петро-Хім Технології»



О.Г. Мартинюк



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
УПРАВЛІННЯ ВЗАЄМОДІЇ З ВЕРХОВНОЮ РАДОЮ УКРАЇНИ,
ОРГАНАМИ ДЕРЖАВНОЇ ВЛАДИ ТА НАУКИ

Київ, 01135, проспект Перемоги 14, тел.. (044) 351-48-36 email: rmy@mtu.gov.ua

« 26 » 08 2015 р.

№ 50/ 94 - 15

ДОВІДКА
про впровадження наукових розробок в умовах
Міністерства інфраструктури України
здобувача кафедри ДБМ і хімії
Національного транспортного університету
Аксьонова Сергія Юрійовича

Даною довідкою підтверджується, що розробки здобувача Аксьонова С.Ю. з підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах отримали практичне застосування при проектуванні, реконструкції, капітальному ремонті автомобільних доріг загального користування державного значення.

Здобувач Аксьонов С.Ю. є співавтором національних та галузевих стандартів, рекомендацій, методик та інших технічних документів у галузі дорожнього господарства, зокрема:

1. СОУ 42.1-37641918-100:2013 Будівельні матеріали. Бітуми дорожні модифіковані з використанням лабораторної лопатевої мішалки. Методи контролю процесу модифікації;
2. СОУ 42.1-37641918-99:2013 Дорожньо-будівельні матеріали. Метод визначення розрахункового опору розтягу при згині. Монолітних дорожньо-будівельних матеріалів;
3. Р В.2.3-218-21476215-795:2011 Рекомендації щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття;
4. Р В.2.3-218-02070915-797:2011 Рекомендації з підвищення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на бетонних та залізобетонних основах;
5. М 218-21476215:2012 М 21476215/02070915-713:2012 Методика визначення циклічної довговічності армуючих синтетичних матеріалів асфальтобетонних шарів.

Дані розробки знайшли практичне застосування під час виконання технічного аудиту при реконструкції та капітальному ремонті автомобільної дороги державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський до параметрів І-б технічної категорії, а також проектуванні та влаштуванні асфальтобетонних покриттів на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг загального користування, застосування яких дозволяє підвищити довговічність покриттів за рахунок підвищення їх колієстійкості, зсувостійкості та тріщиностійкості.

Начальник Управління
взаємодії з Верховною Радою України,
органами державної влади та науки



Д.В. Ламський

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО –
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ
З ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА

УКРДІПРОДОР



03680, м. Київ, Повітрофлотський пр-кт, 39/1
тел./факс: (044) 249-84-83
e-mail: okt@diprodor.com

“ 26 ” 02 2013р.

№ 136-01

на № _____ від _____

ДОВІДКА

**про впровадження наукових розробок колективу кафедри ДБМ і хімії
Національного транспортного університету під керівництвом професора
Мозгового Володимира Васильовича**

Наукові розробки та практичні рекомендації, в яких брали участь докторант, канд. тех. наук. Онищенко А.М., аспіранти Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Аксьонов С.Ю., щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття в конструкції дорожнього одягу знайшли практичне застосування при проектуванні конструкцій дорожнього одягу в 2012 році.

На основі зазначених наукових розробок та рекомендацій були запроектовані різні варіанти конструкцій дорожнього одягу з використанням полімерасфальтобетонних шарів та вибраний оптимальний варіант з точки зору забезпечення колієстійкості, тріщиностійкості та довговічності дорожнього одягу від дії великовагових транспортних засобів на автомобільних стоянках майданчиків відпочинку при розробленні проектної документації на капітальний ремонт автомобільної дороги державного значення М-06 Київ – Чоп на ділянці км 14+080 – км 128+000 в Житомирській та Київській областях.

Заступник головного інженера
ДП «Укрдіпродор», канд. техн. наук



Ф.П. Гончаренко

Державне агентство автомобільних
доріг України (Укравтодор)

Державне підприємство
Українські дорожні інвестиції
«УКРДОРІНВЕСТ»

03150 Київ-150, вул. Антоновича, 51

Оф. 706

Тел./факс: 287-70-60

e-mail: mail@ukrdorinvest.com.ua



The State Road Agency
of Ukraine(Ukravtodor)

State Enterprise
Ukrainian Road Investments
"UKRDORINVEST"

03150 Kyiv-150, Antonovycha Str., 51,

Office 706

Tel./fax: 287-70-60

e-mail: mail@ukrdorinvest.com.ua

№

ДОВІДКА

Про впровадження наукових розробок Здобувача С.Ю. Аксьонова

Цим підтверджую, що відповідно до Угоди про позику (Другий проект покращення автомобільних доріг та безпеки руху) між Україною та Міжнародним банком реконструкції та розвитку від 11.10.2012 року на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України, виконувався технічний аудит фахівцями ДП "Укрдорінвест", "Mott MacDonald Limited" та Національного транспортного університету (відповідальний виконавець молодший науковий співробітник С.Ю. Аксьонов) на контрактах № 1 - № 5 при реконструкції та капітальному ремонті автомобільної дороги державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський до параметрів І-б технічної категорії.

Програма технічного аудиту:

Відбір зразків-кернів з дорожнього покриття на зазначених контрактах для лабораторних випробувань у відповідності до вимог ДСТУ Б В.2.7-119-2003, ДСТУ Б В.2.7-127:2006, ДСТУ Б В.2.7-89-99 та ВБН В.2.3-218-186-2004.

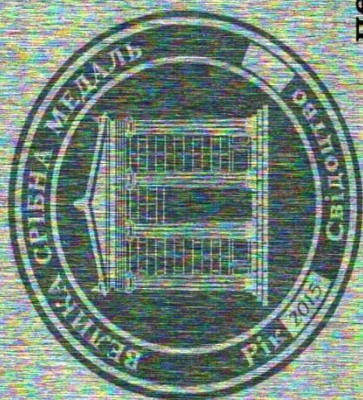
Вимірювання прогинів дорожнього покриття з використанням балки Бенкельмана для аналізу міцності асфальтобетонних шарів дорожнього одягу. Аналіз результатів та обговорення пропозицій по підвищенню колієстійкості та тріщиностійкості дорожнього одягу на автомобільній дорозі державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський.

Молодшим науковим співробітником С.Ю. Аксьоновим на основі отриманих досліджень спільно з фахівцями ДП "Укрдорінвест" та "Mott MacDonald Limited" обговорювалась конструкція дорожнього одягу нежосткого типу:

- наплавна гідроізоляція "Testudo" -
 - гарячий щільний дрібнозернистий асфальтобетон типу А І - 8 см
 - марки
 - щебенево-мастиковий асфальтобетон ЦМА-20 - 5 см
- та пропозиції з підвищення тріщиностійкості, колієстійкості та зсувостійкості асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах та автомобільній дорозі державного значення М-03 Київ – Харків – Довжанський.

Директор

Р.Г. Гнатенко



Академія будівництва України

ДИПЛОМ

переможця конкурсу на здобуття

ВЕЛИКОЇ СРІБНОЇ МЕДАЛІ

За кращу опубліковану роботу в галузі будівельної науки:
*"Монографію "Теоретичні та експериментальні дослідження
конструкції південного мостового переходу через р. Дніпро
в м. Києві"*

нагороджується

АКСЬОНОВ СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ

Президент

Керівник комісії
30.04.2015 №3

І.І.Назаренко

С.І.Білик



ORGANIZERS:
 Vilnius Gediminas Technical University (Lithuania)
 Lithuanian Society of Automotive Engineers (LSAE)
 JSC 'Lithuanian Railways'
 National Aviation University (Ukraine)

17th Conference for Junior Researchers

SCIENCE – FUTURE OF LITHUANIA. Transport Engineering and Management

This is to certify that **Sergey AKSENOV**
 (National Transport University, Ukraine)
 has been awarded this

DIPLOMA

for scientific report

***Method of preparation and test results of bitumen modified with polymers
 using laboratory blade mixer*** presented in the Conference
 (co-authors – Arthur ONISCHENKO, Vadim NEVYNHLOVSKYY,
 Mykolay GARKUSHA, ~~Oleksandr RIZNICHENKO~~)

Date of Award: May 8, 2014

Name of the Place: Vilnius, Lithuania

Date of Event: May 8, 2014

Chairman of the Organizing Committee

Prof. Dr. Olegas PRENTKOVSKIS (Vilnius Gediminas Technical University)

Chairman of the Scientific Committee

Assoc. Prof. Dr. Raimondas JUNEVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University)
 (President of the Lithuanian Society of Automotive Engineers – LAIS)

<http://jmk.transportas.vgtu.lt>

<http://www.vgtu.lt>

<http://nau.edu.ua>

<http://www.lais.lt>

<http://www.litrail.lt>