

Міністерство освіти України
УКРАЇНСЬКИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УДК 675.725

На правах рукопису

ФЕДОРЕНКО ЛЮДМИЛА ІВАНІВНА

ПРОЕКТУВАННЯ
ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ НА ТРІЩИНУВАТІЙ ОСНОВІ

Спеціальність 05.22.11 -
Автомобільні шляхи та аеродроми

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1996

70. 30. 644

Дисертація в рукописі

Робота виконана в Українському транспортному університеті.

Наукові керівники: Заслужений діяч науки та техніки,
Лауреат Державної премії України,
доктор технічних наук, професор
Рассказов О.О.

кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник Супрун А.С.

Офіційні опоненти: докт.техн.наук, проф. Заворицький В.Я.
канд.техн.наук, доц. Шинкарук М.В.

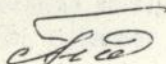
Провідна організація - АП "Київсовздорпроект", м. Київ

Захист відбудеться " 30 " жовтня 1996 року
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.27.03 при
Українському транспортному університеті за адресою:
252010, м. Київ-10, вул. Суворова, І, ауд. 333-а.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці
Українського транспортного університету.

Автореферат розісланий " 30 " вересня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
канд.техн.наук, доцент



Пальчик А.М.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00760437 (R)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогодні значна частина коштів, які відпускаються на утримання та ремонт дорожнього господарства, витрачається не на нове будівництво, а на ремонт та реконструкції існуючої мережі.

При цьому, до найбільш розповсюджених видів дорожніх робіт, які виконуються при реконструкції та капітальному ремонті, необхідно віднести влаштування шару підсилення, товщину якого визначають розрахунком. Незважаючи на масовий характер подібних робіт, слід признати, що розрахункова схема шарів підсилення до теперішнього часу розроблена недостатньо, так як не враховує впливу порушень суцільності в вигляді швів або тріщин, характерних для старих дорожніх одягів. Вони ж, як можна передбачити, суттєво впливають на роботу реконструйованого дорожнього одягу, коли верхній шар асфальтобетону вкладається на таку основу.

В існуючих розрахункових схемах шарів підсилення дорожніх одягів не враховується також і вплив в'язкопружних властивостей матеріалів. Крім того, тріщинуваті дорожні одяги піддаються також прискореному руйнуванню від дії багатовісних транспортних засобів.

Це пов'язано з тим, що порушення суцільності дорожнього покриття погіршують його розподільчу здатність та викликають перенапруження як шару підсилення, так і нижче розташованих шарів дорожніх одягів.

Метод дослідження є вдосконалення методики проектування підсилення нежорстких дорожніх одягів на тріщинуватій основі з урахуванням глибини проникнення тріщини, в'язкопружних можливостей матеріалів шарів дорожніх одягів та рухомого характеру навантаження.

Наукова новизна роботи:

- одержані результати експериментальних досліджень спільної роботи шарів дорожніх одягів на тріщинуватій основі;
- розроблена інженерна методика визначення напружено-деформованого стану покриттів автомобільних доріг, які потребують реконструкції, з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей шарів дорожнього одягу, а також інтенсивності навантажень від багатовісних транспортних засобів.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Практична цінність дослідження полягає в удосконаленні методики розрахунків на міцність при розробці проектів реконструкції тріщинуватих дорожніх одягів з врахуванням в'язкопружних властивостей матеріалів та осьового навантаження від транспортних засобів, які експлуатуються в Україні. Побудовані також номограми для застосування в інженерній практиці при визначенні товщин асфальтобетонних шарів підсилення.

Результати наукових досліджень знайшли відображення у чотирьох відомчих нормах та рекомендаціях, а також при будівництві ділянок автомобільних доріг Тюмені.

Апробація роботи. Окремі розділи дисертації доповідалися та одержали підтримку на науково-технічних семінарах і конференціях: "Повышение качества строительства автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР", Владимир, 1986, 1987 гг. та "Интенсификация дорожного строительства", Владимир, 1988 г.; "Прочность материалов и элементов конструкций при сложном напряженном состоянии", Житомир, 1969 г.; на III-Всесоюзной конференции по нелинейной теории упругости, Сыктывкар, 1969 г.; "Шляхи підвищення ефективності дорожнього господарства України в нових умовах господарювання", Київ, 1994 р., а також на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу УТУ /НАДІ/ в 1981-1996 рр.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані в 19 роботах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, висновків, списку літератури з 157 назв, 38 рисунків, 10 таблиць. Загальний обсяг становить 165 сторінок.

З М І С Т Р О Б О Т И

В першій главі виконано огляд основних напрямків і способів розрахунків дорожніх одягів, а також сформульовано мету та задачі дослідження.

Відмічається, що для оцінки напружено-деформованого стану дорожніх одягів на суцільній основі при дії автомобільних навантажень знаходять застосування як точні /класичні/ рішення теорії пружності /Д.Бурмістер, В.І.Коган, М.Б.Корсунський, В.С.Нікішин, О.К.Приварніков, Б.С.Радовський, Р.М.Раппопорт, П.І.Теляев, Т.С.Шапіро та інші/, так і технічні /інженерні/, де використовуються спрощені гіпотези для шарів покриття на основі. Останні отримують все більше розповсюдження через необхідність подолання в них знач-

но менших математичних складностей, але без суттєвих похибок результатів в порівнянні з класичними.

В інженерних методах найчастіше приймають такі розрахункові схеми: балка /плита/ на пружній основі /В.Ф.Бабков, М.І.Горбунов-Посадов, Л.І.Горецький, М.М.Іванов, В.М.Кононов, І.А.Медніков, О.О.Салль, В.О.Чернігов, О.Я.Шехтер/; багатопарові балки і плити, розташовані на вінклеровій основі /Г.І.Глушков, О.М.Тоцький/; дві напівнескінченні балки, з'єднані шарніром /І.А.Медніков, М.О.Железніков/. Зовнішнє навантаження у всіх перерахованих вище випадках моделюється зосередженою нерухомою силою. Окремий напрямок уточнених теорій, які враховують деформації поперечного зсуву, температурні навантаження в шарах плити на пружній основі, знаходять розвиток в Українському транспортному університеті /В.Г.Піскунов, О.О.Рассказов, О.Ф.Рябов, В.С.Сіпетов/. Значний внесок в удосконалення питання розподілу руху по ширині проївної частини та розрахунків конструкцій земляного полотна внесли такі вчені як О.А.Білятинський, В.Я.Заворицький, О.Є.Стефанович, Я.В.Хом"як.

Проблемою вивчення впливу шву або тріщини в дорожніх одягах займалися Г.С.Вахрак, Н.І.Брагінська, Г.І.Глушков, О.В.Дьогтев, Л.Б.Каменецький, В.О.Крєтов, В.О.Лавровський, Г.В.Малеванський, Л.О.Марков, О.Є.Мєрєлікін, В.В.Мозговий, Б.С.Радовський, О.О.Салль, А.С.Супрун, П.І.Теляєв, І.П.Шульгинський, В.О.Чернігов, Х.Гоаголу, А.Гоеттзі, С.Карпентер, М.Льтер, Р.Літтон, К.Маджидзадех, К.Монісміт, Г.Моріс, К.Муратідіс, В.Стефен, Уестергард, Х.Чанг та інші.

На основі аналізу літературних джерел зроблено висновок, що проблема проектування раціональних шарів підсилення дорожніх одягів при ремонті та реконструкції автомобільних шляхів залишається особливо актуальною. Її розв'язання ускладнюється тим, що при розрахунках на міцність одягів, які відновлюються, необхідно враховувати наявність дефектів типу тріщин. Разом з тим діючий нормативний документ /Інструкція ВСН 46-83/, орієнтований в основному на нове будівництво і не передбачає можливості такого врахування. Недостатньо вивченим є також питання про раціональність вибору розрахункової схеми одягів як в'язкопружних систем. Крім того, проведення додаткових досліджень потребує проблема визначення впливу розподілу навантажень на реконструйовані покриття доріг.

Для досягнення поставленої мети визначено за необхідне розв'язати такі задачі:

- виконати лабораторні та стендові експерименти по вивченню

впливу на роботу дорожнього одягу поперечної тріщини, яка знаходиться в підстиляючому шарі;

- розробити інженерну методичку оцінки напружено-деформованого стану дорожнього одягу з тріщинуватою основою, в тому числі з врахуванням дії рухомих навантажень та в'язкопружних властивостей матеріалів шарів та ґрунту земляного полотна;

- провести уточнення впливу використання вантажопід'ємності автомобілів на величину зовнішнього навантаження, яке передається дорожньому одягу;

- розробити пропозиції щодо практичного застосування результатів досліджень при проектуванні шарів підсилення дорожніх одягів.

В другій главі аналізуються результати лабораторного та стендового експериментів.

Вивчення напружено-деформованого стану моделі дорожнього одягу проводилося на спеціально виготовленому обладнанні для досліджень багатшарових плит, розташованих на пружній основі. Воно включає станину, металевий жорсткий короб розмірами 0,4x0,4x1,0 м, важільний прес та навантажувачі пристрої. Розміри станини, діаметр стяжних болтів і товщина плит обладнання підібрані таким чином, щоб при дії навантаження деформаціями короба можна було нехтувати. Шари дорожнього одягу моделювалися двома пластинами з органічного скла, фізико-механічні характеристики якого співпадають з аналогічними їм для асфальтобетону при розрахунковій температурі весняного періоду.

Після визначення модуля пружності органічного скла $E=3268\text{МПа}$ на пластини наклеїли тензорезистори типу ПКБ. Короб установили заповнили ґрунтом-суглинком легким пілуватим, який обробили бітумом СГ 70/90, ущільнили його і визначили модуль пружності за допомогою важільного преса. Поклали плиту "покриття" на суглинок і притерли її для досягнення повного контакту. Навантаження проводилось ступенями від 0 до 3 кг. Показники приладу ІДЦ-І фіксувалися на кожному ступені навантаження. Для перевірки вітки розвантаження її провели також ступінчасто. При цьому вийшли на початковий рівень, що є свідченням лінійних властивостей матеріалу і можливості його використання для дослідів з пружним напівпростором.

Приклеївши до плити "покриття" ще одну плиту - "основу" провели серію таких же дослідів, як і з однією. Це відповідало роботі конструкції без порушень суцільності.

Після роз'єднання плит нижню плиту розрізали навпіл і склеїли з "покриттям" так, щоб в основі була плита з тріщиною шириною в

І мм. Після чергової серії дослідів отримали в лабораторних умовах дані для розрахунків на міцність конструкції, розташованої на тріщинуватій основі.

Крім того були проведені експериментальні дослідження на кільцевому стенді Держшляхнді. Обладнання стенду дозволяє в стаціонарних умовах вивчити напружено-деформований стан дорожніх одягів різних типів як з тріщиною під шаром підсилення, так і без неї.

Навантаження імітувалося двовісним електромобілем з ведучими та веденими колесами, що відповідає транспортному засобу типу А МАЗ-900А, МАЗ-903А.

При реконструкції дорожнього одягу на стенді було зафіксовано координати поперечної тріщини в старому покритті, а також місце, де не спостерігалось порушень суцільності. Після цього на існуюче покриття уклали шар підсилення з 7 см асфальтобетону. Тензорезистори встановили на відстані 20 см один від одного по шару підсилення над тріщиною та над ділянкою суцільного покриття.

Приладом ІДЦ-І вимірювалися деформації при різних значеннях тиску повітря в шинах електромобіля /від 0,30 до 0,55 МПа/. Колесо завантаженого електромобіля зупинялося у зазначених точках послідовно. Після 324 замірів, зроблених під час досліджень, визначено найбільші відносні видовження ϵ верху шару підсилення на одязі з тріщиною та без неї /табл. І/.

Таблиця І

Деформації шару підсилення дорожнього одягу
в залежності від тиску повітря в шинах

Тиск повітря в шинах, МПа	Максимальні відносні видовження шару підсилення на основі		Відношення значень максимальних деформацій
	без тріщини	з тріщиною	
0,30	$17,9 \times 10^{-5}$	$33,9 \times 10^{-5}$	1,89
0,35	$19,4 \times 10^{-5}$	$28,7 \times 10^{-5}$	1,48
0,45	$16,5 \times 10^{-5}$	$34,6 \times 10^{-5}$	1,87
0,50	$18,2 \times 10^{-5}$	$34,1 \times 10^{-5}$	1,87
0,55	$21,0 \times 10^{-5}$	$33,9 \times 10^{-5}$	1,61
середнє значення	$19,0 \times 10^{-5}$	$33,0 \times 10^{-5}$	1,74

Наявність порушень суцільності збільшує деформації в середньому в 1,74 рази. Причому експериментом підтверджено, що істотного впливу на деформації значення тиску p повітря у шнах не має.

Одержані результати лабораторних і стендових експериментів співставлені також з даними, отриманими за допомогою обчислювального комплексу "ЛІРА". Він дозволяє на основі методу кінцевих елементів проводити розрахунок плит шаруватої структури за товщиною, розташованих на пружній основі. Тріщина у другому зверху шарі моделювалася кінцевим елементом нульової жорсткості. Плита розбивалася на прямокутні та трикутні елементи таким чином, щоб в околі тріщини відбувалося згущення сітки. Це дозволяє отримувати більш точні результати. Максимальні значення напружень, визначених під час експериментів і за допомогою комплексу "ЛІРА", наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Максимальні стискавчі напруження за даними експериментів

В и д експерименту	Максимальні стискавчі напруження в плиті за даними експерименту / комплексу "ЛІРА"		Відношення напружень
	без тріщини	з тріщиною	
	Лабораторний	0,86/	
"ЛІРА"	0,752	1,124	1,68
Стендовий	0,75/	1,360/	1,81
"ЛІРА"	0,662	1,185	1,79

Аналіз показує /табл. 2/, що відносна збіжність результатів достатня для досліджень такого типу.

На основі лабораторних і стендових експериментів можна зробити висновок, що тріщина під шаром покриття суттєво впливає на напружено-деформований стан конструкції дорожнього одягу в цілому. Тому при розробці проектів реконструкції доріг треба, на відміну від проектування нової дороги, враховувати вплив цього фактору на міцність шару підсилення.

В третій главі розглянуті питання теоретичних досліджень напружено-деформованого стану дорожнього одягу з поперечною тріщиною в шарі основи. У зв'язку з тим, що в проектних організаціях краще

використовувати залежності, які дозволяють отримувати достовірні результати на персональних комп'ютерах, в роботі побудовано саме такий варіант інженерної методики визначення стану дорожніх одягів на тріщинуватій основі.

В загальному випадку вважається, що дорожній одяг складається з 3-х шарів і напівпростору: шару основи, де може бути тріщина шириною $\Delta \rightarrow 0$, і пістилячий цей шар деформованої основи необмеженої товщини /рис. I/. Верхні шари загальною товщиною $H = h_1 + h_2$ зчеплені між собою та мають з основою гладкий контакт. Шар пружної основи, де може бути тріщина, опирається без тертя на вінклерову основу. Доцільність використання такої розрахункової схеми експериментально підтвердили Л.О.Марков і О.В.Дьогтев.

Для виводу розрахункових залежностей використаний підхід, запропонований Б.С.Радовським. Він ґрунтується на тому, що напружено-деформований стан складеної з декількох шарів конструкції можна описати, якщо відомо рівняння вигнутої поверхні середньої лінії нижніх шарів. Тоді, подавши це рівняння у вигляді інтеграла Фур'є і розділивши його підінтегральний вираз на

$$\Lambda(\alpha) = 1 + \sqrt{2g} E_1 J_1 \bar{B}(\alpha) \alpha^4 \quad /I/$$

отримаємо шукані формули. В /I/ E_1 - модуль пружності матеріалу верхнього шару дорожнього одягу, J_1 - момент інерції його поперечного перерізу, $\bar{B}(\alpha)$ - трансформанта Фур'є функції $B(x)$, яка залежить від виду деформованої основи і описує вертикальні переміщення її поверхні від поодинокій зосередженій сили.

В якості вихідних, тобто таких, що описують деформований стан окремо нижніх шарів основи, використані рівняння С.П.Тимошенка. Для суцільного дорожнього одягу це необмежена плита з гладкою підшошвою, що опирається на пружну основу з коефіцієнтом постелі k_0 і модулем пружності E_{gp} . Тріщинувата основа моделюється двома розташованими поряд на відстані $\Delta \rightarrow 0$ напівнескінченими довгими плитами. В першому випадку прогини симетричні відносно координати x точки прикладання сили P , а в другому /для тріщинуватої основи/ - суттєво залежать від відстані S до берега тріщини /рис. I/. Прогини дорожнього одягу без порушень суцільності визначаються за формулою

$$w_2^{(1)}(x) = w_2^{(np)}(x) = \frac{P \gamma_1^4}{k_0 g} \int_0^{\infty} \frac{\cos \alpha x d\alpha}{\gamma_1^4 + d^4}, \quad /2/$$

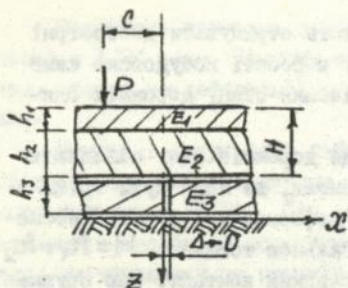


Рис. 1. Розрахункова схема плити дорожнього одягу на тріщинуватій основі.

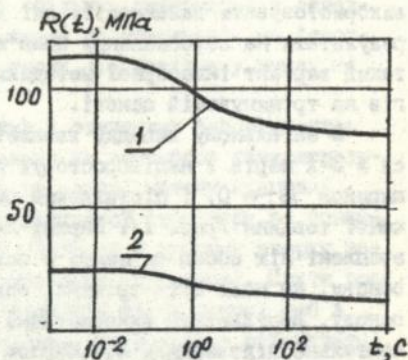


Рис. 2. Графіки функцій релаксації для: 1-гранітних висівок під шаром асфальтобетону; 2-суглинка пілуватого.

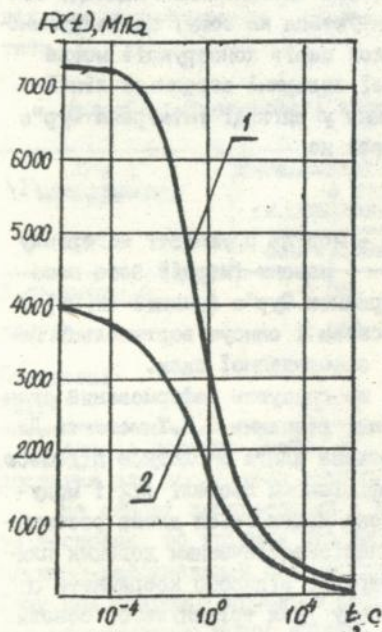


Рис. 3. Графіки функцій релаксації для: 1-асфальтобетону типу А; 2-пісного асфальтобетону.

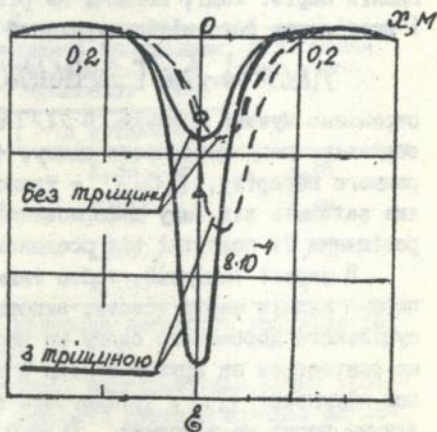


Рис. 4. Відносні деформації поверхні плити дорожнього одягу. Суцільна лінія-коесо в точці з координатом $x=0$, штрихова - $x=0,03$ м. Знак Δ відповідає величині ϵ із стандартного експерименту для одягу на тріщинуватій основі, а 0 - на суцільній.

а на тріщинуватій основі за двома формулами:

$$w_{T2}^{(A)}(x) = \frac{P}{\pi E_2 J_2} \int_0^{\infty} F_1(c) \cos cx dx, \quad /3/$$

$$w_{T2}^{(NP)}(x) = \frac{P \Omega \theta(\beta c)}{\pi E_2 J_2} \int_0^{\infty} F_2(c) \cos cx dx. \quad /4/$$

Тут $\gamma_1 = [k_0 / (E_1 J_1 + E_2 J_2)]^{1/4}$; $E_1 J_1$ і $E_2 J_2$ - жорсткості при згині відповідно першого /верхнього/ і другого /нижнього/ шарів; $\theta(\beta c) = e^{-\beta c} \cos \beta c$;

$$\beta = [k_0 / (4 E_1 J_1)]^{1/4};$$

$F_1(c), F_2(c)$ -

- функції, які залежать від перемінної c і фізико-механічних та геометричних параметрів дорожнього одягу. Коефіцієнт Ω враховує можливість передачі верхнім шаром прогинів за тріщину ($\Omega =$

$$= w_{T2}^{(A)}(x=0) / w_{T2}^{(NP)}(x=0), \quad 0 \leq \Omega \leq 1).$$

Напруження σ в верхньому шарі дорожнього одягу і відносні деформації ϵ визначаються за формулами:

$$\sigma = -E_1 z \frac{d^2 w}{dx^2}, \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E_1},$$

де координата z відраховується від нейтральної поверхні верхнього шару. Коли верхні шари зчеплені між собою, то координату z треба замінити на δ - відстань до нейтральної поверхні пакету шарів, а E_1 на E' , де E' - його зведений модуль пружності. Значення δ і E' , знаходяться за формулами теорії шаруватих конструкцій, яка розвивається в Українському транспортному університеті. Друга похідна від прогинів в формулі для напружень може бути взятою з кожної із залежностей /2/ - /4/.

Невласний інтеграл в /2/ має табличне значення, тому формула для визначення прогинів дорожнього одягу без порушень суцільності в основі значно спрощується. Інтеграли в /3/, /4/ треба брати чисельно.

Для випадків, коли навантаження на дорожній одяг не можна вважати зосередженим, з формул /2/ - /4/ витікають відповідні ім залежності для прогинів, напружень та деформацій при розподіленні навантаження $q = P/D$ по смузі шириною D .

Формули для визначення напружено-деформованого стану дорожнього одягу безпосередньо над тріщиною виведені за умови рішення інтеграла Фур'є у високій балці-стінці шириною Δ .

Для врахування залежності напружень, деформацій і переміщень в тріщинуватому дорожньому одязі від швидкості руху навантаження, асиметрії епюр прогинів поверхні покриття, відставання максимуму прогинів від центра відбитку рухомого колеса в роботі використані співвідношення інтегрально-спадкового типу

$$\xi(t) = \int_0^t \Pi(t-\tau) d\sigma(\tau),$$

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\xi(\tau).$$

Тут $\xi(t)$ і $\sigma(t)$ - деформації та напруження в момент часу t . Характеристики в'язкопружності, а саме функції повзучості $\Pi(t-\tau)$ і релаксації $R(t-\tau)$ в певній мірі характерні для дорожньо-будівельних матеріалів. Про це свідчать експериментально-теоретичні криві, побудовано на рисунках 2 та 3, з яких видно, що значення функції релаксації в залежності від часу навантаження змінюються в 2-8 разів.

Визначення напружено-деформованого стану в'язкопружного тріщинуватого дорожнього одягу проводилося як розвиток підходу до монолітних шарів дорожніх одягів, розробленого Б.С.Радовським та А.С.Супруном. Воно зведено до розв'язання за отриманими вище формулами ряду задач теорії пружності, що відрізняються між собою положенням навантаження, його величиною і пружними сталими середовища, які залежать від кривих, наведених на рис. 2 і 3. Значення шуканих в'язкопружних напружень σ , переміщень W або деформацій ξ знаходяться як сума відповідних пружних складових. При цьому фіксовані положення призначаються на початковому етапі розв'язання задачі.

Для оцінки достовірності результатів, які отримані за допомогою запропонованої методики, проведено ряд співставлень.

Так рис. 4 показує, що характер зміни $\epsilon = \epsilon(X)$, визначених за стендовим експериментом, і рівняннями інженерної методики, подібний. Різниця визначених з експерименту максимальних деформацій /при $X = 0$ / в плиті з тріщиною та без порушень суцільності складає 1,82, а розрахункова - 2,64. Це пояснюється тим, що датчик при експерименті був наклеєний не безпосередньо над тріщиною. Крім того, колесо транспортного засобу не завжди вдавалося зупинити безпосередньо в необхідній точці. Тому на рис. 4 штриховими лініями побудовані криві, які відповідають положенню колеса на відстані 3 см від краю тріщини. Видно, що в цьому випадку дані числового та стендового експериментів значно зближуються /розбіжність у⁰ відносних деформаціях для двох типів одягів, що визначається, тут складає 2,04/.

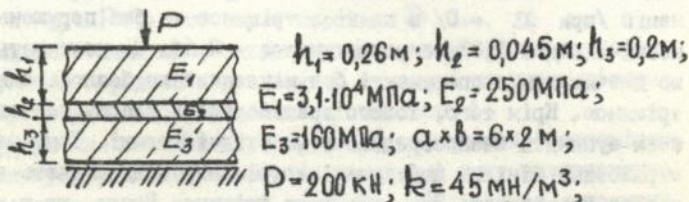
Можливість застосування запропонованої методики в практиці інженерних розрахунків може бути обґрунтованою достатньою відповідністю її результатів з даними роботи О.О.Рассказова та співавторів /табл. 3/ для плити без тріщини, а також програми Дьогтева /табл. 4/ - для дорожнього одягу на тріщинуватій основі. В табл. 5 співставлені значення прогинів з отриманими на основі моделі О.М.Тоцького. Розбіжність в результатах значень прогинів для дорожніх одягів на тріщинуватій основі можна пояснити тим, що в рівняннях О.М.Тоцького для деформаційного шва прийняті більш жорсткі граничні умови в порівнянні з вільним опиранням на край тріщини. Якщо шари не мають порушень суцільності, то результати /табл. 5/ співпадають в межах 1,3%.

На основі отриманих в главі залежностей розв'язано ряд дослідних задач.

Так, рис. 5 ілюструє зміну відношень найбільших напружень, обчислених при розподілі навантаження по смузї довжиною l до знайдених від дії зосередженої сили. Тут криві побудовані з врахуванням відносної жорсткості $G = E_1 h_1^3 / (E_2 h_2^3)$ верхнього та нижнього шарів / $G = 0$ відповідає випадку, коли шар підсилення відсутній/ і характеристики жорсткості підстиляючого шару та пружної основи $\beta D/2$. Видно, що величина ϵ_0 суттєво залежить від будови дорожнього одягу за товщиною. Із збільшенням $\beta D/2$ /тобто для слабкого підстиляючого шару/ необхідно враховувати конкретний вид навантаження. При нарощуванні шару підсилення /із збільшенням G / вид навантаження впливає менше.

Таблиця 3

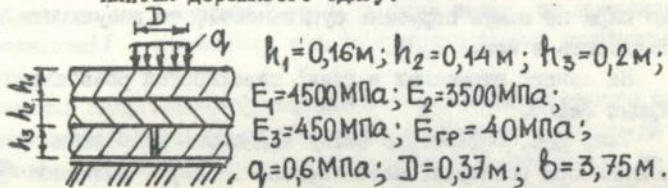
Значення максимальних напружень в тріщинуватій плиті дорожнього одягу без порушень суцільності:



σ_{max} за даними		Розбіжність в % з		
0.0.Рассказова та співавторів:	запропонованої методики	експериментом	МКБ	
експеримент:	розрахунок за МКБ:			
1,54	1,52	1,595	3,45	4,70

Таблиця 4

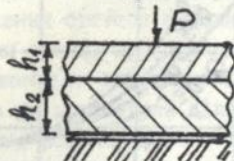
Значення максимальних напружень в тришарових плитах дорожнього одягу:



Вид плити дорожнього одягу	σ_{max} МПа за		Розбіжність результатів в %
	програмою О.В.Дьогтева	запропонованої методики	
без порушень суцільності	0,475	0,371	21,9
з тріщиною в підстиляючому шарі	0,910	0,857	5,8

Таблиця 5

Значення прогинів двшарової плити дорожнього одягу, обчислених за теорією О.М.Тоцького /1/ та запропонованою методикою /2/:



$$h_1 = 0,07 \text{ м}; h_2 = 0,12 \text{ м};$$

$$E_1 = 2000 \text{ МПа}; E_2 = 2250 \text{ МПа};$$

$$P = 51 \text{ кН}; k = 630 \text{ МН/м}^3$$

x , м	суцільна основа		тріщинувата основа	
	1	2	1	2
0	$3,08 \cdot 10^{-5}$	$3,04 \cdot 10^{-5}$	$4,27 \cdot 10^{-5}$	$9,15 \cdot 10^{-5}$
0,02	$3,05 \cdot 10^{-5}$	$3,02 \cdot 10^{-5}$	$4,19 \cdot 10^{-5}$	$8,98 \cdot 10^{-5}$
0,04	$2,97 \cdot 10^{-5}$	$2,95 \cdot 10^{-5}$	$3,97 \cdot 10^{-5}$	$8,48 \cdot 10^{-5}$
0,06	$2,87 \cdot 10^{-5}$	$2,85 \cdot 10^{-5}$	$3,69 \cdot 10^{-5}$	$7,74 \cdot 10^{-5}$
0,08	$2,74 \cdot 10^{-5}$	$2,73 \cdot 10^{-5}$	$3,38 \cdot 10^{-5}$	$6,87 \cdot 10^{-5}$
0.1	$2,59 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-5}$	$3,05 \cdot 10^{-5}$	$5,92 \cdot 10^{-5}$

На рис. 6 побудовані графіки, які показують характер зміни сили P' в точці розриву суцільності в залежності від коефіцієнта передачі навантаження через верхній шар. Тут основний висновок заключається в тому, що при $\beta > 1,5$ сила P' змінює знак, тобто сприяє відриву шару підсилення від підстиляючого. Це може привести до утворення порожнин в околі тріщини.

Відношення найбільших прогинів в тріщинуватому дорожньому одязі до прогинів конструкції без порушень суцільності наведено на рис. 7. Видно, що із збільшенням значень $\beta^{D/2}$ і G величина η збігається.

Числовий експеримент з врахуванням в'язкопружних властивостей одягів /рис. 8/ підтвердив висновок, що їх потрібно враховувати при русі автотранспортних засобів з малими швидкостями / при

$v < 8$ км/год/. При цьому в'язкопружність впливає в більшій мірі на дорожні одяги з порушеннями суцільності в підстиляючому шарі.

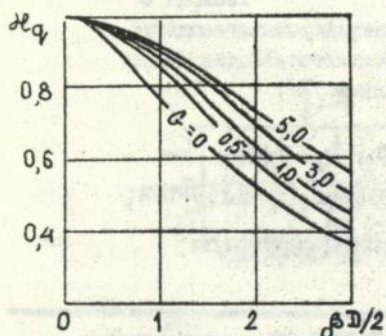


Рис. 5. Відношення σ_q напружень, обчислених з врахуванням смуги контакту навантаження до напружень від дії зосередженої сили.

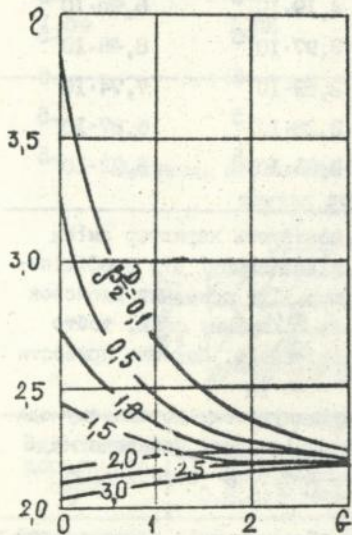


Рис. 7. Відношення η максимальних прогинів в дорожніх одягах відповідно на тріщинуватій та суцільній основах.

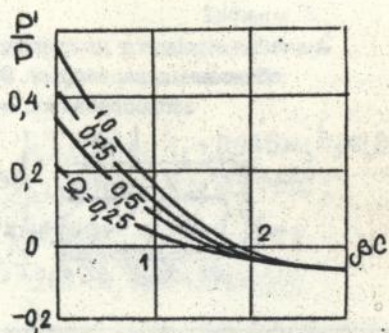


Рис. 6. Вплив коефіцієнта передачі навантаження Ω через верхній шар тріщинуватого одягу.

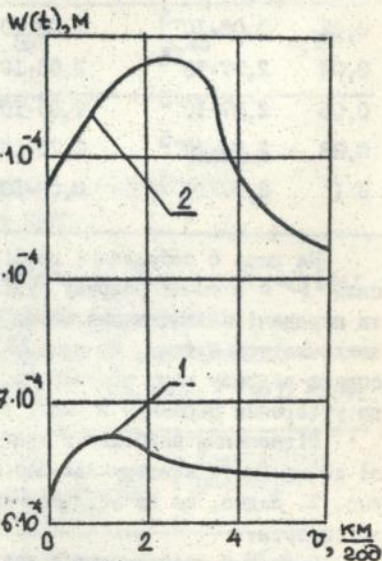


Рис. 8. Зміна прогинів під колесом транспортного засобу в залежності від швидкості руху v по в'язкопружному дорожньому одягу: 1-суцільна плита; 2-плита з тріщиною.

В четвертій главі розроблено методику, яка дозволяє враховувати вплив ступеня завантаженості транспортного засобу на дорожнє покриття. Як відомо, сумарний коефіцієнт приведення впливу на дорожній одяг і -го транспортного засобу $S_{i\Sigma}$ до розрахункового навантаження суттєво залежить від розподілу навантажень між осями. Разом з тим, при проектуванні дорожніх одягів транспортні засоби вважаються завантаженими за номіналом. Це припущення здебільшого не відповідає дійсності, призводить до безпідставного підвищення розрахункового запасу міцності і впливає на визначення прогнів дорожніх одягів з тріщинуватих основ.

Поставлена задача вирішена за допомогою положень теоретичної механіки і дозволяє знайти величину $S_{i\Sigma}$ для довільного автотранспортного засобу з врахуванням його реальної завантаженості /в межах від порожнього автомобіля до перевантаженого/.

Наведені приклади розрахунків для двох-, трьохосного автомобілів, а також сидельного багатівісного автопоїзда свідчать про необхідність врахування реального ступеня завантаженості. Так, для автомобілів типу МАЗ-6422-МАЗ-9380, КраЗ-260 при недовантаженості їх на одну чверть коефіцієнти приведення зменшуються майже в 2 рази. Це, в свою чергу, дозволяє зменшити значення потрібного модуля пружності конструкції дорожнього одягу приблизно на 10%. Вказане може бути суттєвим при проектуванні під'їздів до місць відстою автомобілів /гаражі, автопарки, смуг руху, по яких технологічний транспорт /бетоно-, панелевоз тощо/ повертається з районів будівництва, /а також під'їзних доріг до цукрозаводів, елеваторів та інших підприємств.

Зроблені також висновки про вплив можливої нерівномірності розподілу навантаження по площі кузова автомобіля.

Доведена необхідність врахування цього фактору, так як він може значно змінити величину навантажень на осі.

П'ята глава включає пропозиції відносно практичного використання результатів досліджень.

На основі чисельних експериментів доведено, що найбільш раціональною схемою дорожнього одягу на тріщинуватій основі буде така, коли шар підсилення одностороннє контактує з підстиляючим /при вертикальному навантаженні, направленому вниз, виникає відпір основи/. Таким чином пропонується між підстиляючим шаром і шаром підсилення встановлювати прошарки, які перешкоджають їх

Таблиця 6

Значення сумарних коефіцієнтів приведення дії автотранспортних засобів /АТЗ/ на дорожній одяг до розрахункових навантажень

п/п	Марки АТЗ	Рівень завантаженості АТЗ, %					
		0	25	50	75	100	120
1	ЗІЛ-130-76	0,0023	0,012	0,059	0,148	0,353	0,64
2	МАЗ-5335	0,0169	0,060	0,190	0,470	1,045	1,79
3	КамАЗ-5511	0,019	0,049	0,140	0,360	0,940	1,60
4	КамАЗ-5320	0,086	0,399	0,906	0,170	2,130	2,58
5	КрАЗ-260	0,1325	0,2087	0,39	0,7904	1,498	2,512
6	МАЗ-6422+ МАЗ-9389	0,0431	0,1279	0,46	1,81	3,858	7,535
7	МАЗ-5432+ МАЗ-9397	0,0663	0,1708	0,2258	1,314	3,075	5,73
8	МАЗ-504Е+ ЧМЗЛП-9965	0,024	0,083	0,315	1,002	2,65	5,28

жорсткому зв'язку. При цьому фізико-механічні параметри прошарку на напружено-деформований стан конструкції в цілому практично не впливає. Тому їх можна вибирати довільно.

При призначенні необхідної товщини шару підсилення виходили з умови урівнювання прогинів дорожніх одягів на суцільній та тріщинуватій основі. Для визначення відношення $h_{\text{т}} / h_1$ на рис. 9 побудована номограма. Тут $h_{\text{т}}$ і h_1 відповідно товщини верхніх шарів дорожнього одягу на тріщинуватій та суцільній основі. Крім того на рис. 9 позначено: h_2 - товщина підстиляючого шару /для тріщинуватої основи це глибина проникнення тріщини/; D - діаметр відбитку колеса автомобіля; $E_{\text{ГР}}$, E_2 і E_4 - відповідно модулі пружності ґрунтової основи, підстиляючого шару та шару підсилення. За допомогою номограми нескладно при відомих значеннях h_2 / D і $E_{\text{ГР}} / E_2$, а також значень h_1 / h_2 і E_4 / E_2 , які приймаються при новому будівництві, призначати на скільки треба збільшити товщину шару підсилення на тріщинуватій основі.

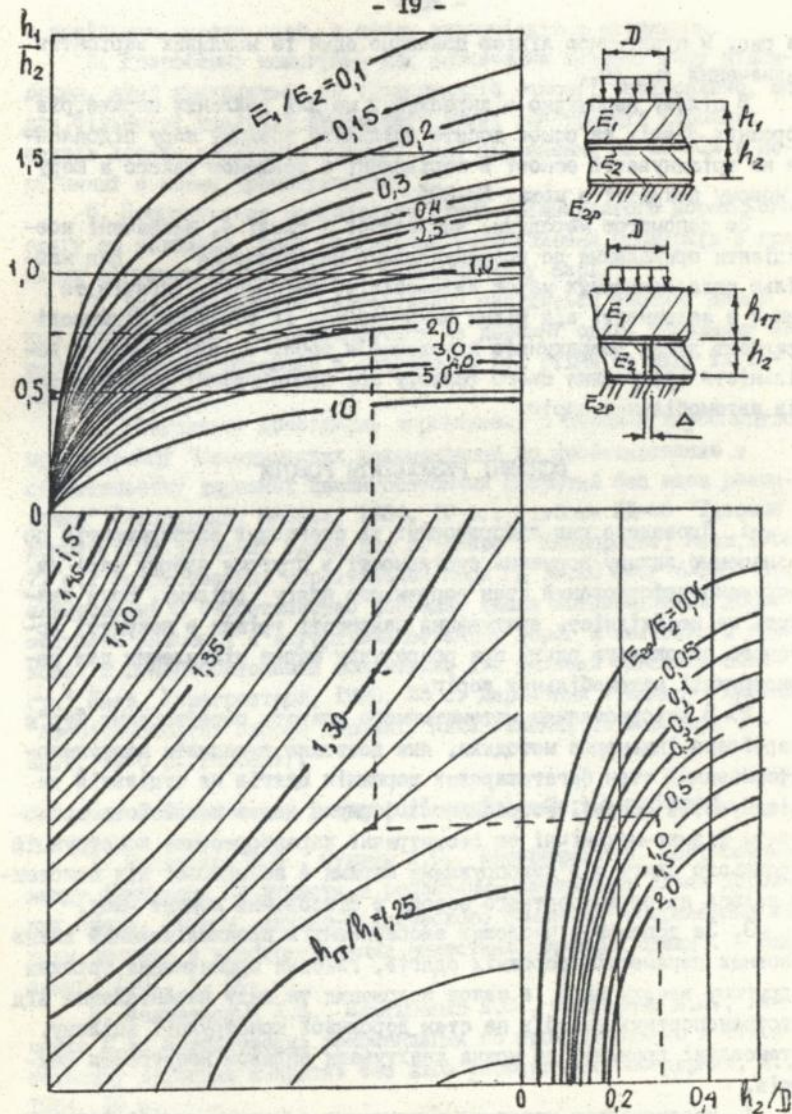


Рис. 9. Номограма для призначення товщини шару підсилення на тріщинуватій основі

На рис. 9 пунктирною лінією показано один із можливих варіантів визначення $k_{ст}/k_{п}$.

В цілому необхідно підкреслити, що для реальних параметрів дорожніх одягів та основ досить збільшити товщину шару підсилення на тріщинуватій основі в порівнянні з товщиною такого ж шару в новому покритті в межах 20-30%.

За допомогою методики, викладеної в главі 4, визначені коефіцієнти приведення до розрахункового навантаження для найбільш розповсюджених марок автомобілів, автобусів, тягачів та інших в залежності від рівня використання їх вантажопід'ємності. Фрагмент даних розрахунків наведений в табл. 6, яка ілюструє доцільність врахування цього фактору при проектуванні дорожніх одягів автомобільних доріг.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Проведено ряд лабораторних та стендових експериментів по визначенню впливу порушень суцільності в другому зверху шарі на напружено-деформований стан дорожнього одягу в цілому. Вони вказують на необхідність врахування наявності тріщин в покритті існуючого дорожнього одягу при розрахунку шарів підсилення для реконструкції автомобільних доріг.

2. З використанням математичного апарату перетворення Фур'є розроблена інженерна методика, яка дозволяє визначати напружено-деформований стан багат шарових дорожніх одягів на суцільній та тріщинуватій основі. Розрахункові формули дають можливість врахувати фізико-механічні та геометричні характеристики конструкції дорожнього одягу з "в'язкопружними шарами в залежності від положення колеса автотранспортного засобу в фіксований момент часу.

3. За допомогою числових експериментів проаналізований вплив основних параметрів дорожніх одягів, глибини проникнення тріщини в другому зверху шарі, а також положення та виду навантаження від автотранспортних засобів на стан дорожньої конструкції в цілому. Встановлені границі, де можна знехтувати впливом несуттєвих факторів.

4. Вдосконалено методику визначення сумарного коефіцієнта приведення дії на дорожній одяг автотранспортних засобів з врахуванням рівня їх реального завантаження. Запропонована методика дозволяє проводити оцінку впливу на дорожній одяг автомобілів

з довільним числом осей, а також автопоїздів з причепами.

5. Розроблені номограми для визначення товщини шару підсилення, який знаходиться на тріщинуватій основі. Встановлено, що для більшості реальних параметрів таких конструкцій дорожніх одягів досить збільшити товщину шару підсилення на 20-30% в порівнянні з новим проектуванням.

6. Пропонується раціональна схема тріщинуватого дорожнього одягу за товщиною. Вона передбачає встановлення прошарків в границях порушень суцільності в підстиляючому шарі.

7. Для практичного застосування наводяться таблиці даних про навантаження, які передаються на дорожні одяги основними автотранспортними засобами в залежності від рівня та виду їх завантаженості.

8. Результати досліджень впроваджені в дорожнє виробництво при розробці "Методических рекомендаций по проектированию и строительству дорожных цементобетонных покрытий без швов расширения" Союздорнии, Москва, 1984, 10 с.; Альбома КД-88 "Типовые конструкции дорожных одежд для г. Киева", Киевпроект, Киев, 1988, 77 с.; Ведомственных строительных норм РД 10.20 УССР 6-90. "Проектирование и строительство дорожных одежд автомобильных дорог местного значения и внутрихозяйственных дорог в колхозах и совхозах с цементобетонными покрытиями для условий Одесской области" Киев. Укргрострой, 1990, 55 с. Державний стандарт України "Автотранспортні засоби дорожні. Навантаження та габарити". - Київ, 1996 р. /проект/.

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Радовский В.С., Супрун А.С., Федоренко Л.И. Соотношение между функциями ползучести и релаксации материалов слоев дорожных одежд. Тезисы научно-технического семинара "Современные методы расчета и конструирования жестких дорожных одежд". - Владимир, 1981, с. 22.

2. Малеванский Г.В., Мартыненко Л.С., Федоренко Л.И., Хазченко Д.А. Методические рекомендации по проектированию и строительству дорожных покрытий без швов расширения. Союздорнии, М., 1984, 10 с.

3. Радовский В.С., Супрун А.С., Мозговой В.В., Федоренко Л.И. Определение функций релаксации асфальтобетона по результатам ис-

следования на ползучесть //Автомоб. дороги і дор. буд-во. Вип. 35. Київ: Будівельник, 1984, с. 23-27.

4. Федоренко Л.И. Определение эффективного времени нагружения дорожных одежд при движении большегрузных автомобилей. Тезисы 8-й научно-технической конференции "Повышение качества строительства автомобильных дорог в нечерноземной зоне РСФСР", 1985, с. 23.

5. Супрун А.С., Федоренко Л.И. До розрахунку дорожнього одягу на рухомі навантаження //Автомоб. дороги і дор. буд-во. Вип. 37. Київ: Будівельник, 1985, с. 27-30.

6. Супрун А.С., Федоренко Л.И. Определение напряжений в покрытии на трещиноватом основании. "Совершенствование методов расчета и конструирования нежестких дорожных одежд". - Труды Союздорнии, 1986, с. 23-25.

7. Супрун А.С., Федоренко Л.И. О функциях релаксации материалов слоев дорожной одежды. "Исследования по механике дорожных одежд". - Труды Союздорнии, М., 1985, с. 112-121.

8. Супрун А.С., Федоренко Л.И. Влияние поперечных трещин в нижнем слое покрытия на напряженно-деформированное состояние дорожных одежд. Тезисы научно-технического семинара КАДИ, 1987, с. 32.

9. Федоренко Л.И. Расчет дорожных одежд с учетом уровня загрузки автотранспортных средств. Тезисы региональной научно-технической конференции "Интенсификация дорожного строительства" Владимир, 1988, с. 25.

10. Радовский Б.С., Мозговой В.В., Малеванский Г.В., Федоренко Л.И. и др. Типовые конструкции дорожных одежд для г. Киева "Альбом КД-88". Киевпроект, Киев, 1988, с. 77.

11. Федоренко Л.И. Вплив ступеня завантаженості транспортно-го засобу на дорожнє покриття //Автомоб. дороги і дор. буд-во. Вип. 45. Київ: Будівельник, 1989, с. 14-16.

12. Супрун А.С., Федоренко Л.И. Прогнбы многослойных дорожных покрытий под действием движущейся нагрузки. Тезисы III-Всесоюзной конференции по нелинейной теории упругости. Сыктывкар, 1989, с. 159-160.

13. Радовский Б.С., Супрун А.С., Федоренко Л.И. Экспериментальные исследования влияния поперечной трещины под слоем усиления на совместную работу дорожной одежды. III Всесоюзный симпозиум "Прочность материалов и элементов конструкций при сложном напря-

женном состоянии", Тезисы докладов, Часть 2, Киев, 1969, с. 65-66.

14. Малеванський Г.В., Супрун А.С., Федоренко Л.І., Швець В.В. До оцінки впливу поперечної тріщини під шаром підсилення на спільну роботу дорожнього одягу // Автомоб.дороги і дор. буд-во. Вип. 47. Київ: Будівельник, 1990, с. 17-19.

15. Малеванский Г.В., Супрун А.С., Хаценко Ю.А., Белан А.А., Федоренко Л.И. Проектирование и строительство дорожных одежд автомобильных дорог местного значения в колхозах и совхозах с цементобетонными покрытиями без армирования для условий Одесской области. Ведомственные строительные нормы РД 10.20 УССР 6-90. Укргрострой Киев, 1990, 55 с.

16. Радовський Б.С., Федоренко Л.І. До питання про визначення товщини шару підсилення на тріщинуватій основі // Автомоб.дороги і дор.буд-во. Вип. 49, Київ: Будівельник, 1991, с. 23-28.

17. Федоренко В.М., Федоренко Л.І. Експериментальні дослідження роботи дорожніх одягів на тріщинуватій основі. Тези науково-технічної конференції "Шляхи підвищення ефективності дорожнього господарства України в нових умовах господарювання", Київ, 1994, с. 49.

18. Федоренко Л.І. В'язкопружні плити на тріщинуватій основі. Тези дев'ятої науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу Луцького індустріального інституту, Луцьк, 1994, с. 125.

19. Федоренко Л.І. Вплив поперечних тріщин старого покриття на якість шарів підсилення дорожніх одягів. Тези науково-практичної конференції "Сучасні проблеми підвищення якості будівництва, ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг" Київ, 1996, с. 21-23.

Федоренко

Бедоренко Л.И. Проектирование дорожных одежд на трещиноватой основе. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 - автомобильные дороги и аэродромы, Украинский транспортный университет, Киев, 1996.

Диссертация содержит экспериментальные и теоретические исследования состояния жестких дорожных одежд с трещиноватым основанием. Предложены номограммы для определения толщины слоев усиления трещиноватых дорожных одежд с учетом вязкоупругих свойств материалов и коэффициентов использования грузоподъемности автотранспортных средств в зависимости от уровня загрузки. Разработаны расчетные схемы и практические рекомендации по совершенствованию проектирования асфальтобетонных слоев усиления трещиноватых дорожных одежд.

Ключевые слова: дорожная одежда, трещиноватое основание, слоистые конструкции, вязкоупругость, грузоподъемность.

Fedorenko L.I. Design of road pavements on the cracked base.

The for achieving the technical sciences bachelorhood on the theme of 05. 22. 11, "Motorways and airports", Ukrainian Transport University, Kiyiv, 1996.

The thesis contains experimental and theoretical studies of condition and design of road pavements on the cracked base.

The influence of transverse cracks in the old pavement on the performance of road pavements with the new strengthening layers is being studied. Real physical and mechanical properties and thickness values of the road pavements (visco-elasticity, layeredness of the structure by the height) as well as factor of using the load carrying capacity of motor vehicles as a function of the loading level are being taken into account.

Practical recommendations on improving road pavement design on the cracked base had been worked out.

Key words: cracked base, road pavement, visco-elasticity, load-carrying capacity.

Підписано до друку 19.09.96, формат 60x84/16
Папір офсетний. Умовн.-друк.аркуш. 1,0.
Об.-вид.аркуш 1,0. Тираж 100 . Замовл. 320 .

Поліграф. дільн. Інституту електродинаміки АН України,
252680, Київ-57, проспект Перемоги, 56

1130107

AB 35.644