

– ISBN 985-464-349-2.

3. Fetisov, O. *The Main Preconditions and Factors of Modern Industrial Heritage Problem [Текст] / O. Fetisov // Architektura a urbanismus 2. poloviny 20. století? – Ostrava : Fakulta stavební, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. – p. 211-214. – ISBN 978-80-248-3148-0.*

4. Fagner, B. *Industriální stopy : architektura konverzi průmyslového dědictví v České republice 2000-2005 [Текст] / B. Fagner. – Praha : Karlínska studia, 2005. – 167 s. – ISBN 802395440-7.*

5. Zemankova, H. *Tvorit ve vytvořenem: nové funkce využívání uvolněných objektů [Текст] / H. Zemankova. – Brno : VUT v Brně, 2003. – 157 s. ISBN 80-214-2365-X.*

6. Dvorakova, E. *Revitalizace a konverze průmyslových objektů [Електронний ресурс] / E. Dvorakova, J. Merta, K. Vitaskova. – 80 Min / 700 MB. – Ostrava, 2010. – 1 елект. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-80-7368-798-4.*

7. Dvorakova, Eva. *Nové využití technického a průmyslového dědictví [Текст] / E. Dvorakova. – Praha : Zprávy památkové péče, 2013/73, с. 3. – s. 171-178. – ISSN 1210-5538.*

#### АНОТАЦІЯ

Дана робота присвячена важливій проблемі всіх постіндустріальних міст Чеської республіки – охороні потенційних пам'яток архітектури при реновації індустріальної спадщини. Обґрунтована актуальність проведення дослідження в даному напрямку. Ціллю даної роботи є аналіз досвіду реновації архітектури індустріальної спадщини під нові муніципальні та соціально-культурні функції в Чеській республіці, з подальшим виявленням найбільш характерних тенденцій.

Ключові слова: промислова архітектура, індустріальна спадщина, охорона, реновація.

#### ANNOTATION

The present research deals with the important problem of post-industrial cities in the Czech Republic – conservation of architecture in the frame of adaptive reuse of industrial heritage. The relevancy of present research have been defined. The purpose of the research is analysis of the experience in adaptive reuse of industrial heritage architecture with new municipal and sociocultural functions with identification of the most characteristic tendencies.

Keywords: industrial architecture, industrial heritage, conservation, adaptive reuse.

#### УДК 514.18

**Гореленко О.О., асистент КНУБА, м. Київ**

### ПОВЕДІНКА ШАРІВ, ТА МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ АСФАЛЬБОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ, ПРИ ДІЇ КОРОТКОЧАСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПЛОЩИНУ КОНТАКТУ ШАРІВ ДОРОГИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

#### АНОТАЦІЯ

У статті наведені приклади моделювання та розрахунку впливу ударних і пасивних деформацій на дорожнє покриття асфальтобетонного типу. А також наведено приклади наслідків у вигляді схем і малюнків. Дано моделювання основних типів покриттів з урахуванням площин контакту і дій на різні шари цих покриттів. Наведені посилання до нормативних документів.

Ключові слова: Асфальтобетон; моделювання; автомобільні дороги; покриття.

**Актуальність.** Дорога, як технологічна споруда є необхідною складовою для забезпечення життєдіяльності економіки будь-якої країни. Присутність досконалої логістики в країні дає вагомий внесок в товарообіг між покупцем та продавцем. А на сам перед якісне дорожнє покриття зменшує час доставки товарів, послуг тощо.

Не секрет, що запорукою якісного дорожнього покриття є надійна основа – фундамент дороги, який сприймає всі напруження і розподіляє їх в залежності від матеріалу рівномірно по всій площі. Експлуатаційні умови роботи асфальтобетону пов'язані з кліматичними особливостями, тобто температурними навантаженнями протягом доби, місяця, року. Фактори експлуатаційних умов вимагають підвищення якості дорожніх шарів, збільшення їх щільності та розміру, а й в більшості випадків і зміну матеріалів.

**Останні дослідження.** Публікації [2], [4] показують тільки вузьконаправлені розрахунки та методи, які дають можливість зменшення утворення тріщин тільки в деяких окремих умовах. А наприклад, якщо температура повітря змінилась, навантаження і дія різних шарів покриття теж зміниться, що призведе до некоректних розрахунків. Тому для визначення повинні бути вико-

ристані багато параметрів які задовольняють вирішенню задач руйнування асфальтобетонних покриттів.

Фактори руйнування асфальтобетонних покриттів в залежності від характеру, місцеположення і величини – тріщини, вибоїни, заплати, колійність, лущення, руйнування кромки. Основний фактор руйнування асфальтобетонних покриттів транспортних споруд це утворення тріщин. Також руйнується вся структура дороги від просідання основи (фундаменту), утворення колій при довгостроковому перенавантаженні і слабкості шарів покриття, відсутність водостоку, в наслідок чого волога дістається нижніх шарів, а температурні перепади починають руйнування шарів.

**Мета.** Тобто постає питання на створення інженерного способу та методики розрахунку тріщностійкості асфальтобетонного покриття. Цей метод повинен враховувати змінні параметри шарів покриття, температури повітря та дороги й основи, а також моделювати поведінку в залежності вищезазначених умов з навантаженням транспорту та інших технологічних обов'язків.

**Основний матеріал.** Під час проектування асфальтобетонного покриття на території України слід дотримуватись методичних вказівок прин-

ципів та правил [1]. Метою всіх досліджень та цієї роботи – є створення та вдосконалення існуючих методів моделювання поведінки шарів, які сприймають деформативні навантаження і тим сам підвищують стійкість дорожнього покриття і зменшують тріщино утворення.

Асфальтобетонне покриття розраховується на багаторазові навантаження статичного та динамічного типу, при тому кожний шар покриття відповідає своєму коефіцієнту супротиву навантаженню. Для цього і використовують різні розрахункові методи, геометричні та динамічні моделі та розрахунки. Розрахунок міцності дорожнього покриття виконують по допустимим напруженням на згин та розтяг. Так наприклад асфальтобетонне покриття сильно відрізняється від монолітного дуже слабким коефіцієнтом лінійного розширення.

Залежно від природи тріщиноутворення набуває різних форм (рис. 1):

– відбиті тріщини (рис. 1а). Виникають наслідок концентрації напружень в асфальтобетоні над швами і тріщинами основи при переміщеннях плит і блоків основи;

– температурні тріщини (рис. 1б). Утворюються за рахунок виникнення температурних напружень



**Рис. 1.** Види тріщин в дорожніх покриттях:  
а – відбиті; б – температурні; в – силові; з – технологічні

при охолодженні покриття, як правило, після закінчення декількох років внаслідок старіння бітуму, через що асфальтобетон втрачає свою деформаційну здатність при від'ємних температурах;

– силові тріщини (рис.1в). Утворюються за рахунок виникнення напружень від дії транспортно-го навантаження при недостатній несучій здатності основи і (або) при недостатній міцності асфальтобетону на згин;

– технологічні тріщини (рис. 1г). Виникають внаслідок неправильного підбору складу асфальтобетонної суміші, порушення технології влаштування шарів і ущільнення суміші, а також у місцях поздовжніх і поперечних сполучень суміжних смуг асфальтобетонного покриття;

– втомні тріщини: виникають переважно у вигляді поперечних тріщин на нижній поверхні дорожнього покриття внаслідок прогину шарів дорожнього одягу, потім протягом 6-12 років залежно від інтенсивності руху і кліматичних факторів, проростають на всю товщину дорожнього покриття; можуть також розвиватися від поверхні покриття вниз.

У кожному разі (Рис. 2) основний вплив на роботу дорожніх покриттів і безпосередньо процес утворення тріщин на них, чинять транспортні навантаження і весь комплекс погодно-кліматичних умов. Під впливом транспортного навантаження асфальтобетонне покриття працює на згин, максимальні розтягуючі напруження виникають в нижній зоні, а їх величина залежить від товщини покриття, співвідношення модулів пружності покриття і основи[2].

У літній, частково осінній і зимовий час року, коли ґрунт земляного полотна має високу жорсткість, а також у будь-який період для конструкцій з основою підвищеної жорсткості, під дією транспорту на підшві монолітного шару ( $Z = 0$ ) під центром відбитка колеса, як і на поверхні шару ( $Z = h$ ), виникають стискаючі горизонтальні нормальні напруження ( $+\sigma_y$ ) ( $y = 0; z = 0$ ) (рис 3). У весняний період, коли ґрунт земляного полотна перезволожений, у нижній частині покриття (на підшві) виникають розтягуючі напруження ( $-\sigma_y$ ) ( $y = 0; z = 0$ ), причому поверхневі розтягуючі напруження ( $-\sigma_y$ )

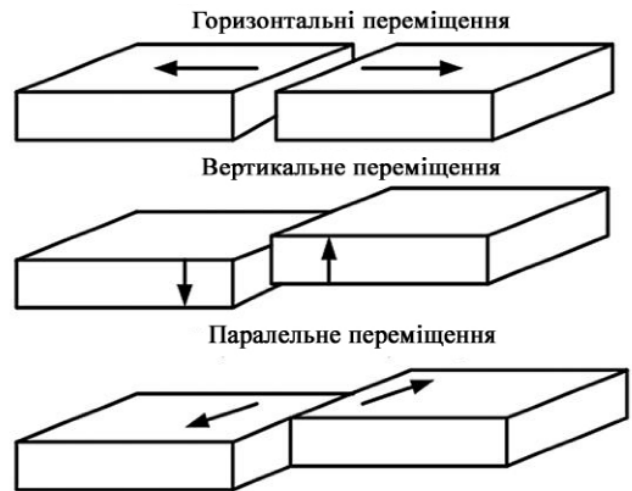


Рис. 2. Види деформації нижніх шарів покриття

( $y > y_0$  ( $z = h$ );  $z = h$ ), як правило, значно менше. При цьому на деякій відстані  $y_0$  ( $z = 0$ ) з'являються стискаючі горизонтальні нормальні напруження ( $+\sigma_y$ ) ( $y > y_0$  ( $z = 0$ );  $z = 0$ ). У той же час на поверхні покриття на відстані  $y > y_0$  ( $z = h$ ) завжди виникають поверхневі горизонтальні нормальні розтягуючі напруження ( $-\sigma_y$ ) ( $y > y_0$  ( $z = h$ );  $z = h$ ) [3].

У результаті можуть утворюватися силові подинні тріщини з відгалуженням і викривленнями, розташовані під різними кутами до осі проїзної частини. Крім того, дія транспортного навантаження може викликати появу відбитих тріщин у верхньому шарі покриття внаслідок вертикального зсуву нижнього асфальтобетонного шару або цементобетонних плит, що виникає при переході колеса з одного краю тріщини на другий (передбачається, що вертикальні зсуви порушують суцільність в нижчих шарах) [4].

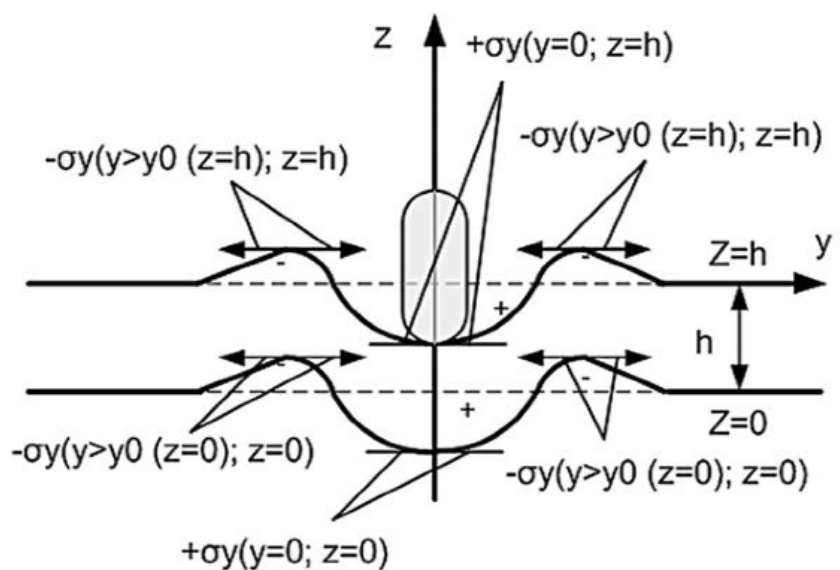


Рис 3. Схема згину покриття при дії навантаження від колеса

До важливих погодно-кліматичних чинників, які впливають на працездатність дорожньої одежі, слід віднести температуру і вологість повітря, сонячну радіацію, середню кількість опадів. Вплив перерахованих вище факторів може викликати в асфальтобетонних покриттях розтягнення від невеликого стискання при охолодженні, деформації від зміни вологості асфальтобетону при частотному переході температури через 0°C, згин покриттів внаслідок нерівномірного підняття при промерзанні і спучуванні ґрунту земляного полотна, а також через неможливість викривлення монолітного покриття при різниці температур на поверхні і внизу покриття.

Розглядаючи асфальтобетонні шари на цементобетонній основі, відзначимо, що добові коливання температур викликають не тільки горизонтальне переміщення в цементобетонному шарі, вони також є причиною згину і викривлення самої плити, що створює зсувні і розтягуючі навантаження в нижній частині асфальтобетонного шару над швом або тріщиною (рис. 4) [5]

#### Вплив стискання існуючого покриття



Рис. 4. Напруження в асфальтобетонному шарі покриття на цементобетонній основі пов'язані з добовими коливаннями температури

Крім температури повітря значний вплив на поверхню покриття має сонячна радіація. Еквівалентна температура нагріву покриття сонячною радіацією з урахуванням запиленості повітря визначається за формулою:

$$t_{екв.} = \rho I K_z / a_H \quad (1)$$

- де  $\rho$  — коефіцієнт поглинання;
- $I$  — інтенсивність сонячної радіації;
- $a_H$  — коефіцієнт теплопереходу;
- $K_z$  — коефіцієнт запиленості.

У результаті добового коливання температур, явища температурного розширення-стиснення, впливу на дорожнє покриття сонячного випромінювання в покритті виникають температурні і відбиваючи тріщини. Температурні тріщини утво-

рюються на всю ширину покриття (поперечні) з чітко вираженим кроком 2-25 м. Їх поява викликає розтягуючі напруги, що виникають, головним чином, при різких перепадах температури повітря: асфальтобетон стає крихким, відбувається нерівномірне охолодження конструктивних шарів дорожнього одягу і невелике стиснення покриття при охолодженні.

Деякі автори у своїх роботах основною причиною появи відбитих тріщин називають вплив температурних коливань, що викликає концентрацію температурних напружень у верхньому шарі покриття або посилення, в результаті чого відбувається порушення зчеплення між шарами, або тріщина відображається в вище розміщений шар. У деяких роботах передбачається, що температурні напруги ініціюються швидким охолодженням верхнього шару, що призводить до виникнення критичних розтягуючих напружень, що викликають розвиток тріщин. Крім того, є думки, що найбільш важливим вплив робить розкриття тріщин в результаті вигину конструкції дорожнього одягу (рис. 5) [6].



Рис. 5. Механізми тріщиноутворення під впливом температури

Фактор наявності транспортного навантаження справляє негативний вплив на дорожнє покриття в основному у весняний час; фактори охолодження покриття — особливо сильно при різкому зниженні температури, як правило, на початку зими і на початку весни. Отже, дія цих факторів збігається за часом року. Проте максимальні розтягуючі напруження від руху виникають в нижній зоні покриття, а від природних чинників — у верхній, що дозволяє зробити припущення про те, що тріщиностійкість за умовами руху не залежить від тріщиностійкості за умовами впливу природних факторів.

У ході аналізу наукових публікацій можна помітити, що при оцінці тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів повинен переважати комплексний підхід. Потрібно одночасно враховувати

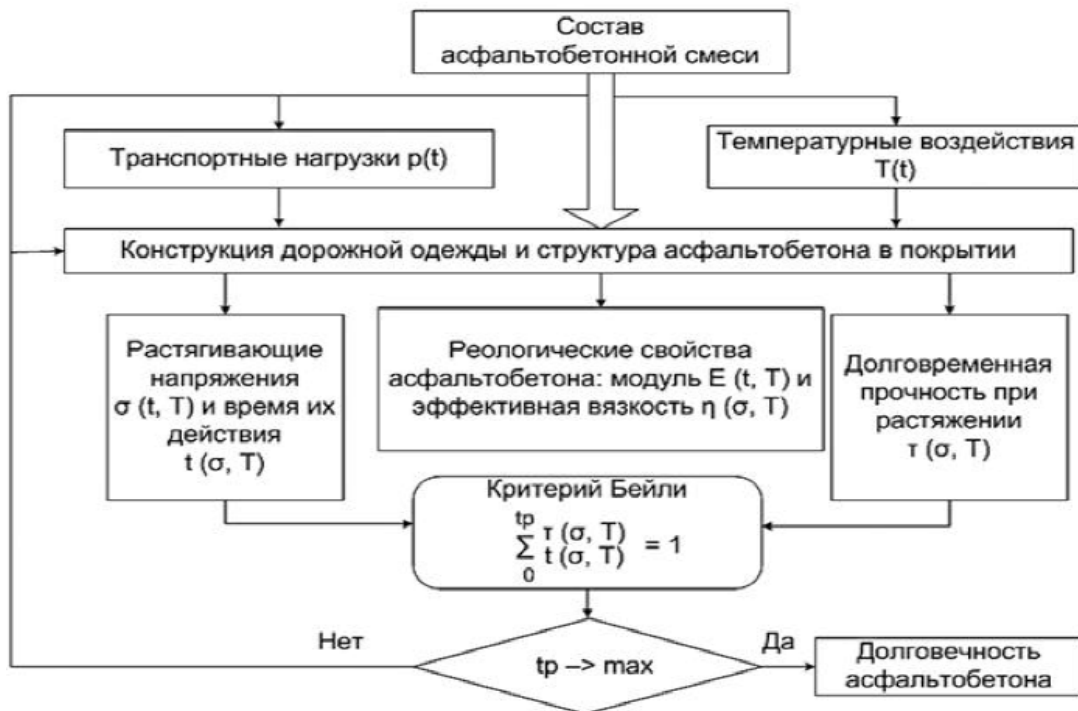


Рис. 6. Блок-схема розрахунку часу до моменту утворення тріщини

особливості конструкції дорожнього одягу, властивості матеріалів, градієнти розподілу температур, зовнішні навантаження і багато інших чинників. Тому завдання розробки критеріїв тріщиностійкості не є простим.

У загальному випадку стійкість матеріалу до появи тріщин різного виду визначається наступними його властивостями: теплофізичними (коефіцієнт лінійного температурного розширення), деформаційними (модуль релаксації при розрахунковій низькій температурі), міцносними (гранична структурна міцність) і втомної (рівень пошкоджуваності матеріалу покриття).

Теплове розширення найбільш важливо враховувати при оцінці стійкості матеріалу до виникнення температурних тріщин. Найбільш часто при оцінці температурної тріщиностійкості використовують коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha$ , град-1:

$$\alpha = \Delta l / l_0 \cdot \Delta T, \quad (2)$$

де  $l_0$  – первинна довжина зразку, м;

$\Delta l$  – подовження зразку при нагріванні (охолодженні), м, на температуру  $\Delta T$ , °C.

Коефіцієнт є більш важливим при оцінці напруженого стану матеріалу покриття, чим вище його значення, тим більше не здійснена температурна деформація і вище напруження. У випадку коли коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha = 0$ , проблема появи температурних тріщин не з'являється.

Згідно досліджень, проведених ще в 60-ті роки минулого століття, А. М. Богуславським були встановлені чисельні значення коефіцієнта лінійного розширення в залежності від типу асфальтобетонної суміші і марки в'язучого (таблиця 1). У всіх випадках коефіцієнт лінійного розширення основи прийнятий рівним 0,00001, градієнт охолодження  $(t_1 - t_2) = 10$  град, час охолодження – 3600с.

Згідно ДСТУ Б В.2.7-119-2003 [7], при визначенні структурної стійкості асфальтобетону до тріщин після випробування зразків обчислюють значення коефіцієнта лінійного розширення за формулою (2), потім визначають показник температурної напруги асфальтобетону при охолодженні до температури мінус 20 °C за формулою:

$$\sigma = K_\gamma \cdot \alpha_t \cdot E / 1 - \mu \quad (3)$$

де  $\alpha_t$  – коефіцієнт лінійного розширення асфальтобетону;

Таблиця 1. Коефіцієнт лінійного розширення

Назва суміші	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha$ ,
Тепла дрібнозерниста	0,00005
Горячі:	
Піщані	0,000068
Тонкозернисті	0,00007
Дрібнозернисті	0,00007
Холодні	0,00003

$\mu$  — коефіцієнт поперечного розширення асфальтобетону (приймається = 0,1)

$E$  — модуль пружності асфальтобетону;

$K_\gamma$  — коефіцієнт релаксації, залежний від типу в'язучого і його в'язкості; приймається: для бітуму БНД 60/90 — 1,15; для бітуму БНД 90/130 — 1,00; для бітуму БМА 100/130 — 0,7.

Вибір правильного критерію тріщиностійкості асфальтобетону є однією з умов, які зумовлюють успіх заходів щодо забезпечення тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів. На думку Б. І. Ладигіна, орієнтування на критерій, не характеризує дійсні умови роботи асфальтобетону, його дійсне напружений стан, кліматичні особливості району будівництва дороги, не дозволить цілеспрямовано і ефективно підвищувати якість асфальтобетону. Тому розрахунки і моделювання довготривалої міцності асфальтобетону узгоджуються з гіпотезою незворотності процесу руйнування, вираженої в принципі лінійного підсумовування пошкоджень. Так, критерій руйнування Бейлі дозволяє розраховувати час служби асфальтобетонного покриття до моменту утворення тріщини методом кінцевих елементів.

**Висновок.** Велика робота виконана вченими як щодо вдосконалення складів асфальтобетонів, так і з розробки конструктивно-технологічних заходів щодо зниження тріщино утворення. Матеріалознавчий підхід ефективний при запобіганні появи температурних тріщин. Конструктивні рішення спрямовані на боротьбу з відбитим тріщиноутворенням, проте ці заходи є тимчасовими заходами, здатними уповільнити розвиток відображених тріщин до 3-4 років. Ефективного комплексного вирішення проблеми утворення тріщин на дорожніх покриттях, об'єднуючого в собі і матеріалознавчий підхід, і конструктивно-технологічний, на сьогоднішній день немає. З ціллю підвищення строків служби дорожнього покриття слід використовувати декілька методів розрахунку майбутнього покриття та спиратися не тільки на розрахункові методи, а й на методи моделюючі поведінку окремих шарів покриття.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Методичні вказівки з розрахунку асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість.* МВ 218-02070915-679:2010.

2. *Ладыгина Б. И. Прочность и долговечность асфальтобетона / Б. И. Ладыгина. — 1972. — С. 187.*

3. *Влияние поверхностных горизонтальных растягивающих напряжений на трещиностойкость асфальтобетонных слоев дорожной одежды с учетом распределения проездов колес по ширине проезжей части: тр. Одесской гос. академии стр-ва и архитектуры / Н. Г. Чаусов, М. Н. Бондар, А. Н. Бесараб, В. Н. Параца. — 2010.*

4. *Mukhtar M. Interlayer Stress Absorbing Composite (ISAC) for Mitigating Reflection Cracking in Asphalt Concrete Overlays, Project IHR-533 / M. Mukhtar, B. Dempsey. // Illinois Cooperative Highway Research Program, Illinois Department of Transportation. — 1996.*

5. *Nunn, M. An investigation of reflection cracking in composite pavements in the United Kingdom, Proceedings of 1st International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, Assessment and Control, Liege University, Belgium, Edited by J. M. Rigo et al., March 1989.*

6. *Lytton, R. L. Use of Geotextiles for Reinforcement and Strain Relief in Asphaltic Concrete. Geotextiles and Geomembranes / R. L. Lytton. — 1989. — Vol. 8. — P. 217-237.*

7. *Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. // ДСТУ Б В.2.7-119-2003. — 2003.*

#### АННОТАЦИЯ

В статье приведены примеры моделирования и расчёта воздействия ударных и пассивных деформаций на дорожное покрытие асфальтобетонного типа. А также даны примеры последствий в виде схем и рисунков. Дано моделирование основных типов покрытий с учётом плоскостей контакта и действий на разные слои этих покрытий. Приведены ссылки на нормативные документы.

Ключевые слова: Асфальтобетон; моделирование; автомобильные дороги; покрытие.

#### ANNOTATION

The paper presents the modeling and calculation examples of the impact of the shock and the passive strain on the pavement of asphalt concrete type. Also, given as examples of the effects of diagrams and drawings. Given the modeling of the main types of coatings in view of the contact surfaces and acts on different layers of these coatings. Provides links to regulatory documents.

Keywords: Asphalt; modeling; car roads; coating.