

УДК 691.168

doi:10.20998/2413-4295.2017.32.04

## ВПЛИВ ТРІЩИН НА МОДУЛІ ПРУЖНОСТІ ТА ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Я. В. ІЛЬІН\*

Кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії ім. М.І. Волкова, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, УКРАЇНА  
\*email: yailin12011993@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** Наведено результати визначення впливу тріщин на показники міцності при вигині, модуль пружності та протяжність життєвого циклу асфальтобетону під дією постійного навантаження, що дорівнює 20 % від руйнуючого. Дослідження показали, що тріщини впливають на міцнісні показники асфальтобетонів. При цьому на ці показники впливає не тільки їх наявність, але й місце їх розташування. У зв'язку з цим, слід попереджувати розповсюдження тріщин по всій площі покриття та його глибині. Особливої уваги слід надавати місцям у яких діє зосереджене навантаження  
**Ключові слова:** асфальтобетон; міцність при вигині; модуль пружності; руйнування; тріщина.

## THE INFLUENCE OF CRACKS ON THE ELASTICITY MODULE AND THE LIFE CYCLE OF ASPHALT CONCRETE

YA. ILIYN

Road construction materials and chemistry department named by M.I. Volkov, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, UKRAINE

**ABSTRACT** In recent years, a number of studies have been conducted in the world devoted to asphalt concrete cracks. The purpose of this work was to determine the effect of cracks that reduce the cross section of the sample, on the design characteristics of asphalt concrete and their most dangerous location relative to the point of application of the load. It was calculated the most dangerous places for the location of propylene, which artificially simulated cracks in asphalt concrete samples when tested on vibrostend. A series of specimens with trial defects was formed to determine how the crack or poorly-treated bitumen shavings could be affected, in addition to being broken down. The results of the study showed that the most dangerous are cracks that are closer to the maximum loads, that is, the coverage of these places closest to the centers of the tracks. Different load patterns showed remarkably different results regarding the strength of asphalt concrete samples when bending and their life cycle. So the most dangerous for asphalt concrete was the application of the entire weight of the load at one point, placed directly above the place of application of an artificial "cracks". It is logical that the most dangerous for the modulus of elasticity was a crack that was applied closer to the maximum moment (according to the diagram of the moments). The results of the study showed that the cracking effect on the strong sleep characteristics of asphaltic concrete. At the same time, these indicators affect not only their availability, but also the location of their location. In this regard, the distribution of cracks across the coverage area and its depth should be avoided. Particular attention is needed to places where a concentrated load operates.

**Key words:** asphalt concrete; bending strength; destruction; crack; elasticity modulus.

### Вступ

В останні роки в світі проводиться ціла низка досліджень, присвячених тріщинам асфальтобетону. Згідно із [1], однією з основних причин передчасного руйнування асфальтобетону у покритті є утворення тріщин в процесі експлуатації доріг. Цією проблемою займаються дослідники з різних країн [2-6]. Проведені у Республіці Білорусь статистичні дослідження показали, що 59 % від всіх пошкоджень та руйнувань складають тріщини [3]. В [4] розглядають тріщини як результат одиничних інтенсивних температурних змін або тривалих циклічних менш інтенсивних температур. Впродовж строку служби асфальтобетон піддається навантаженням, що близькі до критичних. Такі навантаження, із плином часу, призводять до його руйнувань. Цей процес відбувається поступово. Спочатку виникають перенапруги, потім мікротріщини. Поява та прогресування таких змін супроводжується перерозподілом напружень і

залученням у тріщиноутворення більшого об'єму матеріалу. На інтенсивність розвитку мікротріщин впливають структура асфальтобетону, зокрема, розміри і кількість дефектних місць, види та режими прикладеного навантаження.

Якщо уявити, що у розтягненій пластині вирізано отвір, який зменшує перетин пластини на 10 %, то, фактично, напруження на контурі отвору збільшаться не на 10%, а приблизно у 3 рази, а з краю пластини вони практично не змінюються. Цей ефект має назву «концентрації напружень» [8].

Найбільш слабким місцем у структурі асфальтобетону є зона контакту між бітумом і зернами наповнювача. Міцність зчеплення залежить від хімічної активності бітуму, його в'язкості, шорсткості та чистоти поверхні щебеню, пористості асфальтобетону та ін. Дослідники з Америки [7] приводять дані провідної ролі в'язучого в утворенні тріщини.

### Мета роботи

В [8] є рекомендація, яким чином можна спростити розрахунок та змодельовати вплив дефектів. Для цього потрібно зібрати всі дефекти разом та спробувати імітувати їх. Метою цієї роботи було визначити вплив тріщин, що зменшують поперечний перетин зразка, на розрахункові характеристики асфальтобетону та їх найбільш небезпечне розташування відносно точки прикладення навантаження. Для цього було проведено випробування життєвого циклу асфальтобетону після пропилювання зразків з одного боку на 0,1 від товщини зразка (для зразків-балочок це було відповідно 4 мм), а також експерименти з впливу розміщення пропилю на зразку на модуль пружності асфальтобетону.

### Виклад основного матеріалу

Досліджено асфальтобетон типу «Г» з вмістом бітуму (БНД 60/90) 6,5%. Склад асфальтобетонної суміші: Пісок штучний гранітний – 60 %; пісок природний кварцовий – 25 %; Мінеральний порошок вапняковий – 15%. Такий склад підібрано для того, щоб вписатися максимально в середину границь норм для асфальтобетону типу «Г» за ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [9]. Вибір цього типу асфальтобетону обумовлений більшою, ніж у інших асфальтобетонів, ступенем однорідності, що зменшує прояв і вплив структурних дефектів.

Прийнятий для приготування бітум марки БНД 60/90 характеризується: пенетрацією при температурі 25 °С - 81 \* 0,1 мм; температурою розм'якшення - 50,5 °С; дуктильністю при температурі 25 °С - 94 см; температурою крихкості - мінус 16 °С.

Для досліджень використовували балки двох типів:

- «короткі» балки, із розмірами 40x40x160 мм для випробувань міцності при вигині та повзучості (вона визначається життєвим циклом) під дією постійного навантаження, яке дорівнювало 20 % від руйнуючого;

- «довгі» балки із геометричними розмірами 40x40x250 мм для визначення модулю пружності асфальтобетону.

Попередні експерименти показали, що найбільш впливовим фактором є глибина тріщини. Руйнування асфальтобетону відбувається поступово. Спочатку виникають перенапруги, потім мікротріщини. Розвиток цього процесу супроводжується перерозподілом напружень і залученням у тріщиноутворення більшого об'єму матеріалу. Процес розвитку мікротріщин визначається структурою асфальтобетону, зокрема розміром і числом дефектних місць, видом та режимом прикладеного навантаження.

Було розраховано найбільш небезпечні місця для розташування пропилю, що штучно імітували тріщини у асфальтобетонних зразках при

випробуваннях на вібростенді. Базою для визначення розташування тріщин слугувала комп'ютерна модель, розглянута [10], наведена на рис. 1. Зовнішній вигляд балки, для визначення модулю пружності, із пропилами представлений на рис. 2.

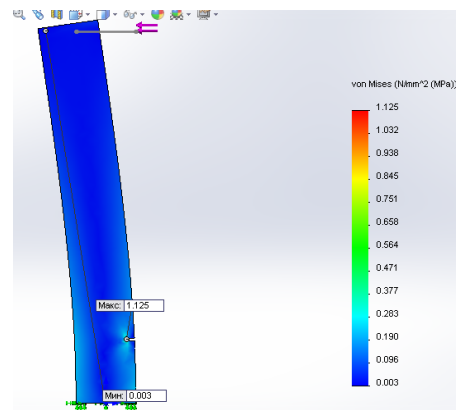


Рис. 1 – Модель зразка балки з тріщиною



Рис. 2 – Зовнішній вигляд зразка для визначення модулю пружності із пропилами

Визначення модулю пружності проводилося у послідовності за [2]. Спочатку – на вихідному зразку, після цього – на зразку із пропилами зверху, а вже після цього – на зразку із пропилами і зверху і знизу. Дані випробувань наведені у таблиці 4.

Як видно з таблиці, модуль пружності при розрахункових параметрах (+ 10 °С та 1,59 Гц), що прийняті в Україні [11], при нанесенні пропилю зверху зразка, слабо (на 10 %) зменшується. В той же час, нанесення пропилю у нижній частині зразка, де епюра моментів наближується до максимуму, дуже сильно зменшує (на 71 %) показники модулю пружності.

Крім визначення модулів пружності, задля визначення впливу тріщин, що імітувалися пропилами було проведено серію випробувань. Для цього було обрано дві схеми навантаження балок з асфальтобетону. Перша схема: навантаження в середині балки та друга схема – навантаження у двох точках (на відстані 1/3 від опор). Для того, щоб розрахувати міцність при вигині для цих схем навантаження використовувались наступні формули:

а) Для схеми триточкового вигину  $R'$  використовувались наступні формули:

$$R'_{\text{виг}_{\text{вуп}}} = \frac{3 \cdot F}{b \cdot h^2}, \quad (1)$$

$$R'_{\text{виг}_{\text{суп}}} = \frac{3 \cdot F}{b \cdot (h - a)^2}, \quad (2)$$

де  $F$  – сила, що необхідна для руйнування балки, кН;  $b$  – ширина балки, мм;  $h$  – висота балки, мм;  $a$  – глибина пропилу, мм.

б) Для схеми чотириточкового вигину  $R''$  використовувались наступні формули:

$$R''_{\text{виг}_{\text{вуп}}} = \frac{3 \cdot F \cdot s}{b \cdot h^2} \quad (3)$$

$$R''_{\text{виг}_{\text{суп}}} = \frac{3 \cdot F \cdot s}{b \cdot (h - a)^2} \quad (4)$$

де  $F$  – сила що необхідна для руйнування балки, кН;  $b$  – ширина балки, мм;  $h$  – висота балки, мм;  $a$  – глибина пропилу, мм;  $s$  – відстань між рифлями, мм.

Таблиця 4 – Показники модулів пружності до та після нанесення поперечних пропилів, що імітують тріщину.

Температура, °С	Частота, Гц	Вихідний зразок без пропилів	Пропили у верхній частині балки	Пропили у нижній частині балки
		$ E^* $ , МПа	$ E^* $ , МПа	$ E^* $ , МПа
+ 20	0,01	2443	2426	1361
	0,05	3246	3724	1894
	0,1	4134	4441	2017
	0,5	5704	5841	2590
	1	6387	6626	3328
	5	7684	8367	3491
+ 10	10	7685	8368	3492
	0,01	6046	5363	1812
	0,05	7958	7070	2344
	0,1	8743	7890	2918
	0,5	10826	10280	3164
	1	12021	10860	3451
	<b>1,59</b>	<b>12195</b>	<b>11005</b>	<b>3470</b>
	5	13490	12090	3615
0	10	13592	12192	3942
	0,01	10963	10280	
	0,05	13353	12670	
	0,1	14241	13353	
	0,5	16904	15948	
	1	18543	17314	
	5	19363	19636	
10	20046	19636		

Було проведено дослідження для кожної зі схем навантаження на балках без пропилів. Виявилось, що міцність при вигині у схемі із навантаженням у двох точках (3,21 МПа) вище, ніж при навантаженні у одній точці (2,84 МПа), проте час життя вищий при навантаженні у одній точці (15647 с проти 10552с).

Також було проведено експеримент із пропилювання тріщини у балках. Тріщини як для однієї, так іншої схем навантаження пропилювались у двох варіантах: всередині та у двох місцях (1/3 та 2/3 довжини балки). Для 1 схеми утворилися відповідно схеми 2 (із 1 пропилом) та 3 (із 2 пропилами), для 4 утворилися 5 (з 2 пропилами) та 6 (з 1 пропилом). Ці схеми, наведені на рис. 3, досліджувались як при міцності при вигині, так і на час життя при двох варіантах навантажень: 0,2 від руйнуючого навантажень для балки без пропилів та 0,2 від руйнуючого від балки із пропилами. При випробуваннях на час життя для балок із пропилами при навантаженні 0,2 від їх власного руйнуючого навантаження час життя дорівнюватиме часу життя балки без пропилів. У разі використання схем 2 та 3, навантаження 0,2 від руйнуючого навантаження для балок без пропилів час життя вистроїлися у такий ряд: для балки із одним пропилом час життя є найменшим та складає 5300 с, для балки з двома пропилами час життя зростає до 13900с. Разом із цим, зростає міцність при вигині. Це можна пояснити збільшенням площі перетину, через те, що розлом проходить від точки прикладення навантаження до однієї з тріщин. У схемах 5 та 6 можна побачити подібну ситуацію. Коли пропили знаходяться безпосередньо під точкою прикладення навантаження, міцність при вигині та час життя скорочується. Найбільш вірогідно, що це відбувається через зміну площі перетину яким проходить руйнування.

У випадку схем з 1 по 3 при розрахунку міцності при вигині, якщо не враховувати зменшення перетину за рахунок пропилу, помітно, що міцність знижується, проте зміна площі перетину у третій схемі наближує міцність при вигині та час життя зразків до балок без пропилів. Це може свідчити про те, що на міцність асфальтобетону впливає не тільки наявність дефектів, але й їх розташування відносно точки прикладення навантаження. У випадку схем з 4 по 6 також помітний вплив перетину, проте він значно менший за такий у трьох попередніх схемах. Імовірно, це викликано тим, що схема прикладення навантаження у двох точках дозволяє більш точно визначити вплив дефектів на асфальтобетон поза залежності від їх розташування у тілі зразка.

Для того, щоб визначити яким чином може вплинути тріщина або неякісно оброблена бітумом щєбінка, до того ж ще й зламана, було заформовано серію зразків із пробними дефектами. До них відносяться:

- балки із вкладеними шматками плівки;
- балки із вкладеними у середину балки заздалегідь зламаними щєбінками, що не були оброблені бітумним в'язучим.

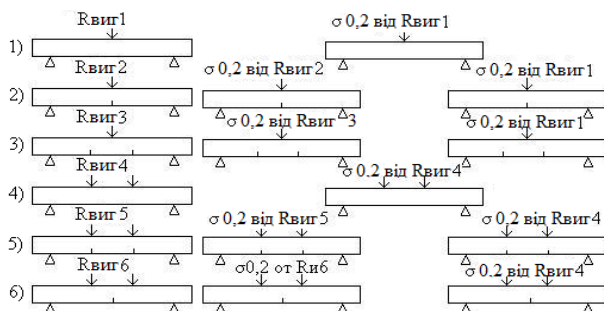


Рис. 3 – Схеми навантажень, що використовувалися.

Шматки плівки імітували тонку тріщину у шарі асфальтобетону. Так тріщина може розташовуватися по різному та пролягати на різній глибині, плівки було укладено у трьох місцях на різну глибину: 0,25 см; 0,5 см; 0,75 см. Ці балки було випробувано наступного дня після формовки.

Як виявилось, видалити плівки з асфальтобетону, який встиг охолонути, не вдається. Це відбулося через те, що висока температура та тиск деформували плівку та затисли її між щебінками. Балки із плівкою були орієнтовані таким чином, щоб місце із плівкою було розташовано збоку від осі завантаження зразку. Під час випробувань на вигин, розламування проходило кожний раз по середині де була плівка 0,5 см. Міцність зменшилась в середньому на 16 відсотків у порівнянні із зразками без такого дефекту. Така орієнтація тріщини моделювала ситуацію коли автомобіль проїжджає дорогою та чіпляє краєм колеса лише частину тріщини, що вже існує (рис. 4).

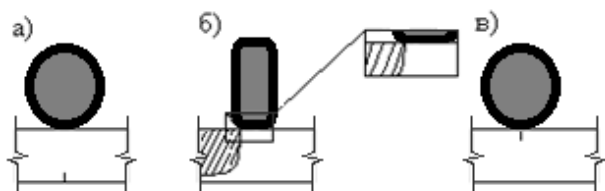


Рис. 4 — Імовірне розташування тріщини по відношенню до колеса автомобілю на дорозі:  
а) відбита тріщина нижнього шару; б) тріщина підходить збоку та зачепляється лише краєм колеса автомобілю; в) тріщина росте зверху по середині під колесом.

Балки із вкладеним щебенем імітують неякісне перемішування суміші під час влаштування шарів покриття автомобільної дороги. Не дивлячись на те, що щебінь мав послабити суміш, тільки одна з трьох балок зламалася у місці з'єднання половинок щебеню (вона показала зниження міцності по відношенню до вихідної суміші без дефектів на 10 відсотків. Інші балки зламалися в інших місцях та показали міцність подібну до вихідної суміші.

### Обговорення результатів

Результати дослідження показали, що найбільш небезпечними є тріщини, які знаходяться ближче до максимальних навантажень, тобто у покритті це місця, найближчі до центрів колій. Різні схеми навантаження показали помітно різні результати відносно міцності зразків асфальтобетону при вигині та їх життєвого циклу. Так найбільш небезпечним для асфальтобетону виявилось прикладення усієї маси навантаження у одну точку, що розміщена безпосередньо над місцем нанесення штучної «тріщини».

Закономірно, що найбільш небезпечним для модулю пружності виявилась тріщина, що була нанесена ближче до максимального моменту (згідно епюри моментів).

### Висновки

Результати дослідження показали, що тріщини впливають на міцнісні показники асфальтобетонів. При цьому на ці показники впливає не тільки їх наявність, але й місце їх розташування. В зв'язку із цим слід попереджати розповсюдження тріщин по всій площі покриття та її глибини. Особливої уваги потребують місця, у яких діє зосереджене навантаження.

### Список літератури

1. Николаенко, М.А. Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий / М.А. Николаенко, Б.В. Бессчѣтнов // *Инженерный вестник Дона*. – 2012. – №2. – с. 665-670.
2. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонных / В. А. Золотарев. — Харьков: Вища школа. — 1977. — 116 с.
3. Мельникова, И.С. Моделирование воздействия температуры и транспортных нагрузок на возникновение и развитие трещин в асфальтобетонных дорожных покрытиях / И.С. Мельникова // *Наука и техника*. – 2012. – № 4. – с. 44-52.
4. Gajewski, M. Prediction of asphalt concrete low-temperature cracking resistance on the basis of different constitutive models / M. Gajewski, P.-A. Langlois // *Procedia Engineering*. – 2014. – Vol. 91. – P. 81 – 86.
5. Леонович, И.И. Анализ причин возникновения трещин в дорожных покрытиях и критерии их трещиностойкости / И.И. Леонович, И.С. Мельникова // *Строительная наука и техника*. – 2011. – 4. – с.36-42.
6. Shobha, Rani Arangi Review paper on pavement temperature prediction model for indian climatic condition / Shobha Rani Arangi, Dr.R.K.Jain / *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*. – 2015. – Vol. 2. – Issue 8. – p. 1-9.
7. Ahmad, M. Abu Abdo Effects of asphalt mix design properties on pavement performance: a mechanistic approach / Ahmad M. Abu Abdo, S. J. Jung // *Advances in Civil Engineering*. – 2016. – Vol. 2016. – 9354058. – doi: 10.1155/2016/9354058.
8. Зайцев, Ю.В. Механика разрушений для строителей / Ю.В. Зайцев. – М. - Высшая школа. - 1991. - 288с.

9. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-119:2011. – [Чинний від 2011-03-01]. – К.: Мікрорегіон України, 2012. – 59 с. – (Національний стандарт України)/
10. **Маляр, В.В.** Вплив випадкових дефектів на концентрацію напружень в асфальтобетоні та на визначення його модуля пружності / **В.В. Маляр, Я.В. Ільїн** // *Вісник ХНАДУ*. – 2017. – Вип. 79. – С.41-47/
11. Методи визначення розрахункових модулів пружності: СОУ 45.2-00018112-059:2010. – [Чинний від 2011-03-01]. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2010. – 26с. – (Стандарт організації України).
5. **Leonovich, I.I., Mel'nikova I.S.** Analiz prichin vznikovenija treshhin v dorozhnyh pokrytjyah i kriterii ih treshhinostjokosti. *Stroitel'naja nauka i tehnika*, 2011, №4, 36-42.
6. **Shobha, Rani Arangi, Dr. Jain, R.K.** Review paper on pavement temperature prediction model for indian climatic condition. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 2015, 2, Issue 8, p. 1-9.
7. **Ahmad, M. Abu Abdo, Jung, S. J.** Effects of asphalt mix design properties on pavement performance: a mechanistic approach. *Advances in Civil Engineering*, 2016, 2016, 9354058. – doi: 10.1155/2016/9354058.
8. **Zajcev, Ju.V.** Mehanika razrushenij dlja stroitelej. M. - *Vysshaja shkola*, 1991, 288s.
9. Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhnyy ta aerodromnyy. Tekhnichni umovy: DSTU B V.2.7-119:2011, [Chynnyy vid 2011-03-01], K.: Minrehion Ukrayiny, 2012, 59 s, (Natsional'nyy standart Ukrayiny).
10. **Malyar, V.V., Il'yin, Ya.V.** Vplyv vypadkovykh defektiv na kontsentratsiyu napruzhen' v asfal'tobetonі ta na vyznachennya yoho modulya pruzhnosti. *Visnyk KhNADU*, 2017, 79, 41-47.
11. Metody vyznachennya rozrakhunkovykh moduluiv pruzhnosti: SOU 45.2-00018112-059:2010. – [Chynnyy vid 2011-03-01]. – K.: Derzhavna sluzhba avtomobil'nykh dorih Ukrayiny (Ukravtodor), 2010. – 26s. – (Standart orhanizatsiyi Ukrayiny).

#### Bibliography (transliterated)

1. **Nikolaenko, M.A., Besshjotnov, B.V.** Povyshenie dlitel'noj treshhinostjokosti asfal'tobetona dorozhnyh pokrytij. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2012, №2, s. 665-670.
2. **Zolotarev, V. A.** Dolgovechnost' dorozhnyh asfal'tobetonov, Har'kov: Vishha shkola, 1977, 116 s.
3. **Mel'nikova, I.S.** Modelirovanie vozdejstvija temperatury i transportnyh nagruzok na vznikovenie i razvitie treshhin v asfal'tobetonnyh dorozhnyh pokrytjyah. *Nauka i tehnika*, 2012, № 4, s. 44-52.
4. **Gajewski, M., Langloism P.-A.** Prediction of asphalt concrete low-temperature cracking resistance on the basis of different constitutive models. *Procedia Engineering*, 2014, 91, 81 – 86.

#### Сведения об авторах (About the Authors)

**Ільїн Ярослав Вікторович** – аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії ім. М.І. Волкова; м. Харків, Україна; e-mail: yailin12011993@gmail.com.

**Yaroslav Piyn** – graduate student, Department of road-constructing materials technology and chemistry named by M. I. Volkov, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv; Ukraine; e-mail: yailin12011993@gmail.com.

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю таким чином:*

**Ільїн, Я. В.** Вплив тріщин на модулі пружності та життєвий цикл асфальтобетону / **Я. В. Ільїн** // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 32 (1254). – С. 25-29. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.04.

*Please cite this article as:*

**Piyn, Ya. V.** The influence of cracks on the elasticity module and the life cycle of asphalt concrete. *Bulletin of NTU KhPI*. Series: New solutions in modern technologies. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017, 32(1254), 25–29, doi:10.20998/2413-4295.2017.32.04.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Ильин, Я. В.** Влияние трещин на модули упругости и жизненный цикл асфальтобетона / **Я. В. Ильин** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 32 (1254). – С. 25-29. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.04.

**АННОТАЦИЯ** Представлены результаты определения влияния трещин на показатели прочности при изгибе, модуль упругости и продолжительность жизненного цикла асфальтобетона под действием постоянной загрузки, равной 20 % от разрушающей. Исследования показали, что трещины влияют на прочностные показатели асфальтобетонов. При этом, на показатели влияет не только их наличие, но и место их расположения. В связи с этим, следует предупреждать распространение по всей площади и глубине покрытия. Особое внимание следует уделять местам, в которых действуют сосредоточенные нагрузки.

**Ключевые слова:** асфальтобетон; модуль упругости; прочность при изгибе; разрушение; трещина.

Поступила (received) 11.09.2017