

УДК 692.542.4

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260319.65.407

ОПТИМАЛЬНИЙ ПІДБІР ПЛАСТИФІКАТОРА ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ

ГАННИК М. І.¹, канд. техн. наук, доц.,
МАРТИШ О. П.², канд. техн. наук, доц.,
ГАЙДАР А. М.^{3*}, ст. викл.,
БЕРЕЗЬЮК А. М.⁴, канд. техн. наук, проф.,
ПАПІРНИК Р. Б.⁵, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: gannik50@mail.ru, ORCID ID: 000 0062 3278 9232

² Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: martysh55@mail.ru, ORCID ID: 0000 0002 6126 1920

^{3*} Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: nastuel_gaidar@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8993-1458

⁴ Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: berezuk@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2113-6858

⁵ Кафедра технології будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: prb@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

Анотація. Мета. Дослідити оптимальний підбір пластифікатора для асфальтобетонного покриття. Крихкість асфальтобетону, яка виникає в результаті старіння, дії сонячних променів, перепаду температур не завжди дозволяє його використовувати повторно без пластифікаторів, які можуть впливати на інтенсивність міжмолекулярної взаємодії і, відповідно на властивості асфальтобетону, створюють систему еластичною. Вибір пластифікаторів в процесі лабораторних досліджень проводився в залежності від природніх якостей бітумів і пластифікаторів. **Методика.** Порівняння залежностей температур крихкості і міцності від швидкості деформування. **Результати.** Встановлено залежності температури крихкості і міцності від швидкості деформування. В процесі експериментів записували на міліметровому папері діаграму навантажень – прогин за допомогою індуктивного датчика, підключеного до випробувальної машини ЦД-10 через посилювач, який дозволяє збільшувати фактичний прогин в 1 000 разів. **Наукова новизна.** Дослідження асфальтобетону на вигин в широкому інтервалі температур и швидкості деформування дозволили визначити температуру крихкості асфальтобетону після термостаріння. **Практична значимість.** Таким чином, запропонований спосіб відновлення монолітності асфальтобетону в покритті шляхом введення оптимальної кількості пластифікатора (мастила). Встановлена залежність температури крихкості напруженого асфальтобетону від швидкості деформації в інтервалі 15...544 мм/хв. за температурою від +50 до -20 °С дозволяє розрахувати їх $T_{кр}$ при будь-якій швидкості згинання за даними, отриманими експериментально при двох значеннях швидкості згинання. Різниця у величині $T_{кр}$ окремих асфальтобетонів у вказаному інтервалі швидкостей згинання досягає 30 °С.

Ключові слова: асфальтобетон; крихкість; міцність; деформаційна температура

ОПТИМАЛЬНИЙ ПОДБОР ПЛАСТИФИКАТОРА ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

ГАННИК Н. И.¹, канд. техн. наук, доц.,
МАРТЫШ А. П.², канд. техн. наук, доц.,
ГАЙДАР А. М.^{3*}, ст. препод.,
БЕРЕЗЬЮК А. Н.⁴, канд. техн. наук, проф.,
ПАПИРНИК Р.Б.⁵, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднeпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днeпро, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: gannik50@mail.ru, ORCID ID: 000 0062 3278 9232

² Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: martysh55@mail.ru, ORCID ID: 0000 0002 6126 1920

^{3*} Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: nastuel_gaidar@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8993-1458

⁴ Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: berezuk@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2113-6858

⁵ Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: prb@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

Аннотация. Постановка проблемы. Необходимо исследовать оптимальный подбор пластификатора для асфальтобетонного покрытия. Хрупкость асфальтобетона, которая возникает в результате старения, воздействия солнечных лучей, перепада температур, не всегда позволяет его использовать повторно без пластификаторов, которые могут влиять на интенсивность межмолекулярного взаимодействия и, соответственно, на свойства асфальтобетона, делают систему эластичной. Выбор пластификаторов в процессе лабораторных исследований проводился в зависимости от природных качеств битумов и пластификаторов. **Методика.** Сравнение зависимостей температур хрупкости и прочности от скорости деформирования. **Результаты.** Установлена зависимость температуры хрупкости и прочности от скорости деформирования. В процессе экспериментов записывали на миллиметровой бумаге диаграмму нагрузок - прогиб с помощью индуктивного датчика, подключенного к испытательной машине СД-10 через усилитель, который позволяет увеличивать фактический прогиб в 1 000 раз. **Научная новизна.** Исследование асфальтобетона на изгиб в широком интервале температур и скорости деформирования позволило определить температуру хрупкости асфальтобетона после термостарения. **Практическая значимость.** Предложен способ восстановления монолитности асфальтобетона на покрытии путем введения оптимального количества пластификатора (смазки). Установленная зависимость температуры хрупкости напряженного асфальтобетона от скорости деформации в интервале 15...544 мм/мин. при температуре от +50 до -20 °С позволяет рассчитать их $T_{кр}$ при любой скорости сгибания по данным, полученным экспериментально при двух значениях скорости сгибания. Разница в величине $T_{кр}$ отдельных асфальтобетонов в указанном интервале скоростей сгибания достигает 30 °С.

Ключевые слова: асфальтобетон; хрупкость; прочность; деформационная температура

OPTIMAL SELECTION OF A PLASTICIZER FOR ASPHALT-CONCRETE COATING

HANNYK M.I.¹, *Cand., Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
MARTYSH O.P.², *Cand., Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
HAIDAR A.M.^{3*}, *Senior Research Assistant*,
BEREZUK A.M.⁴, *Cand., Sc. (Tech.), Prof.*,
PAPIRNYK R.B.⁵, *Cand., Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

¹ Department of technology of building production, State Higher Educational Institution “Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: gannik50@mail.ru, ORCID ID: 000 0062 3278 9232

² Department of technology of building production, State Higher Educational Institution “Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: martysh55@mail.ru, ORCID ID: 0000 0002 6126 1920

^{3*} Department of technology of building production, State Higher Educational Institution “Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: nastuel_gaidar@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8993-1458

⁴ Department of technology of building production, State Higher Educational Institution “Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: berezuk@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2113-6858

⁵ Department of technology of building production, State Higher Educational Institution “Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0652) 47-02-98, e-mail: prb@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

Abstract. Purpose. To investigate the optimal selection of plasticizer for asphalt concrete coatings. The fragility of asphalt concrete, which occurs as a result of aging, exposure to sunlight, temperature variations, does not always allow it to be reused without plasticizers, which can affect the intensity of intermolecular interaction and, accordingly, the properties of asphalt concrete, create a system of elasticity. The option of plasticizers in the course of laboratory studies was carried out in accordance with the natural qualities of bitumen and plasticizers. **Methods.** Comparison of the

brittleness and strength dependences on the deformation rate. **Results.** The dependence of the temperature of brittleness and strength on the deformation rate is established. In the course of experiments, on a millimeter paper, a load diagram was written – a deflection using an inductive sensor connected to the test drive CD-10 through an amplifier, which allows to increase the actual deflection by 1000 times. **Scientific novelty.** The study of asphalt concrete for bending over a wide range of temperatures and deformation rates allowed to determine the temperature of brittleness of asphalt concrete after thermal aging. **Practical relevance.** Thus, the proposed method for reducing the monolithicity of asphalt concrete in the coating by introducing the optimal amount of plasticizer (lubricant). The dependence of the temperature of brittleness of stressed asphalt concrete on the rate of deformation in the range of 15...544 mm/min is established. At temperatures from +50 to -20 °C it is possible to calculate their T_{br} at any rate of bending according to the data obtained experimentally at two values of the bending rate. The difference in the value of T_{br} of individual asphalt concrete in the specified range of bending rates reaches 30 °C.

Keywords: asphalt concrete; fragility; strength; deformation temperature

Постановка проблеми. Згідно з технологічною послідовністю відновлення монолітності верхнього шару покриття автомобільної дороги зводиться, як правило, до розігріву асфальтобетону (газовими або емпіричними пальниками інфрачервоного випромінювання), його розпушування, розливання пластифікатора за необхідності, підкінець, ущільнення [1].

Мета - дослідити оптимальний підбір пластифікатора для асфальтобетонного покриття.

Крихкість асфальтобетону, яка виникає в результаті старіння, дії сонячних променів, перепаду температур, не завжди дозволяє його використовувати повторно без пластифікаторів, які можуть впливати на інтенсивність міжмолекулярної взаємодії і, відповідно, на властивості асфальтобетону, роблять систему еластичною.

Вибір пластифікаторів у процесі лабораторних досліджень проводився залежно від природи якостей бітумів і пластифікаторів.

Ураховувалося, що при пластифікації матеріалів у фізико-хімічному відношенні повинні бути подібні для забезпечення однорідності і стійкості структури в'язучого.

При цьому висувалися вимоги доступності (в плані вартості і наявності) пластифікаторів. Виходячи із вищесказаного, як пластифікатор було вибрано відпрацьоване мастило (відходи автомобільних підприємств). Прийняті для дослідження асфальтобетонні суміші (див. табл.) різнилися за кількістю пластифікатора.

Матеріал. Суміш № 1 (вихідний матеріал) дрібнозерниста з гранулометриєю типу В складена із гранітного щебеню розмірами 5...10 мм, гранітних висівок і бітуму БНД-85 в кількості 6 % вагових часток.

Суміш № 2 – теж саме, що і № 1, але піддавалася термообробці протягом 8,5 год за 200 °C.

Суміші № 3, 4, 5 являють собою суміш № 2, яка пластифікована з 0,33; 0,67 і 1 % відпрацьованого мастила понад 100 % за ваговими характеристиками від кількості суміші. Як видно з таблиці, всі властивості асфальтобетонів відповідають вимогам держстандартів. Відповідно, стандартні дослідження не можуть виявити особливостей бетонів при їх пластифікації. У зв'язку із цим попередня серія дослідів полягала у визначенні міцності і деформативності асфальтобетону складу № 1 при згинанні навантаженням, прикладеним у середині прольоту (14 см) в широкому інтервалі швидкостей деформування і температур. Досліди проводили на випробувальній машині ЦД-10.

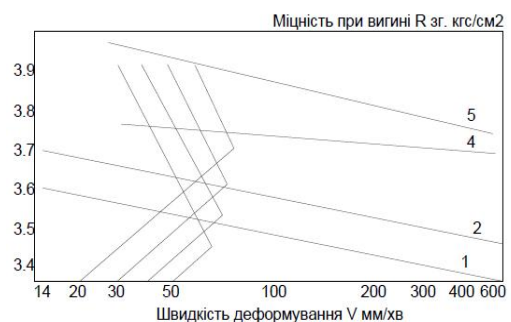


Рис. 1. Залежність температури крихкості та міцності асфальтобетону від швидкості деформування: 1, 2, 3, 4, 5 - номери складу асфальтобетону; 15, 55, 235, 544 - швидкість

деформування, мм/хв / Fig. 1. Dependence of the temperature of fragility and durability of asphalt concrete on the rate of deformation: 1, 2, 3, 4, 5 numbers of asphalt concrete composition; 15, 55, 235, 544 deformation rate, mm / min

Методика та результати. Графік, який показує залежність міцності при згинанні балочок розміром 4×4×16 см від температури за даної швидкості деформування, має явно виражений

максимум, якому відповідає температура крихкості асфальтобетону (рис. 1).

Зменшення міцності за зниження температури пов'язане з проявом крихкості, коли асфальтобетон переходить у пружнокрихкий стан [2; 3]. Експерименти показали, що $T_{кр}$ залежить від швидкості деформування, наприклад, із 15 до 544 мм/хв, зміщується від 0 до +15 °С.

Таблиця

Фізико-механічні властивості асфальтобетонних сумішей

Показники	Номер складу асфальтобетонної суміші				
	1	2	3	4	5
Залишкова пористість	4,50	4,90	4,10	3,30	2,90
Об'ємна вага, г/см ³	2,33	2,32	2,33	2,33	2,33
Водонасиченість, % об'єму	3,80	4,50	3,00	2,80	1,50
Набухання, % об'єму	0,47	0,30	0,23	0,30	0,30
Міцність при стисненні, кгс/см ² , при $t^0 = 20$ °С					
R ₂₀	82,8	105,5	87,9	64,00	60,70
R ₆	70,8	98,2	83,4	65,00	55,70
R _{BD}	50,0	76,8	61,0	47,80	48,70
50 °С	15,9	31,3	21,7	18,30	13,90
0 °С	155,8	172,4	187,4	118,20	105,30
Коефіцієнт водостійкості:					
$\frac{R_v}{R_{20}}$	0,87	0,93	0,94	1,00	0,92
$\frac{R_v}{R_{20}}$	0,60	0,73	0,70	0,75	0,50
Міцність затривісного стиснення за 50 °С і бокового тиску, 1 кгс/см ²	22,4	34,9	–	26,0	23,4
4 кгс/см ²	33,3	44,2	–	49,8	39,0

На графіку показано температурну межу переходу асфальтобетону із пружно в'язкопластичного стану в пружнокрихкий.

Пружнов'язкопластичний стан із збільшенням швидкості деформування міцності бетону росте по знайомій залежності, запропонованій М. А. Івановим.

У пружнокрихкому стані із збільшенням швидкості деформування міцність зменшується, що пов'язано із крихким руйнуванням асфальтобетону, яке настає у випадку, якщо тривалість дії сили t менша або дорівнює τ .

За температури, відповідної $T_{кр}$. бітумомінерального матеріалу [4-9]:

$$t = \tau. \tag{1}$$

Час релаксації, згідно з Александровим, Туревичем, Лазуркіним, визначається залежністю [10]:

$$\tau = \tau_0 e_{кр} \frac{U_0 - a\sigma}{R_T} \tag{2}$$

де τ - період коливання кінетичної одиниці біля тимчасового положення рівноваги; U_0 - енергія активації релаксаційного процесу; $U_0 - a\sigma$ - теж, у напруженому матеріалі; a - структурний коефіцієнт; R - газова постійна; σ - постійна

напряга $(\tau_0, U_0, a) \neq f(T; \sigma)$ [11];

$$t = \frac{C}{V}, \quad (3)$$

де C – постійна.

Після підставлення виразів (2) і (3) у формулу (1) отримуємо, що за температури, відповідної $T_{кр}$:

$$\frac{1}{T_{кр}} = (\lg V^* - \lg V) \frac{R}{(U_0 - a\sigma) \lg l} > \frac{1}{T}, \quad (4)$$

де $V^* = 1/\tau_0$; $T_{кр}$, К - потрібна величина температури крихкості асфальтобетону; T – найнижча фактична температура асфальтобетону в даних природних умовах за відповідної швидкості зміни температури [12].

Формула (4) виражає умови тріщиностійкості асфальтобетону. Залежність $1/T_{кр} = f(\lg V)$ повинна бути прямолінійною як для ненапруженого (за $\sigma = 0$), так і напруженого (за $\sigma = \text{const}$) асфальтобетону у випадку правомірності використання рівняння (2), застосованого до асфальтобетону.

Для перевірки ненапружених зразків асфальтобетону залежність $1/T_{кр} = f(\lg V)$ прямолінійна (рис. 1), що підтверджує правильність відношень (2), (4) і дозволяє оцінити $T_{кр}$ асфальтобетону забудь-якої швидкості згинання за даними, отриманими при двох значеннях швидкості.

Відомо, що в результаті старіння в'язкість асфальтобетону зростає і, явно, температура крихкості зміщується за даної швидкості формування в бік позитивних температур.

Для перевірки цієї обставини вихідний асфальтобетон протягом двох годин доводили до температури 200°C і підтримували цю температуру протягом 2,5 год, відповідно досліди проводили в умовах прискореного термостаріння [13].

Випробування асфальтобетону на згинання в широкому інтервалі температур і швидкості деформування, дозволили визначити температуру крихкості асфальтобетону після термостаріння (рис. 1).

Зміна температури асфальтобетону в експлуатаційних умовах рідко перевищує 15°C за 3 год. (10^4°C), що відповідає

швидкості деформування бітумо-мінерального матеріалу $0,03\dots 0,04$ мм/хв [2]. Оцінка температури крихкості за швидкості деформування $0,04$ мм/хв дає значення для вихідного і постарілого асфальтобетону -21 і -18°C .

На рисунку 2 можна побачити зміну міцності $R_{згн}$ у широкому інтервалі температур залежно від кількості пластифікатора. Як видно з рисунка, додавання пластифікатора зміщує температуру крихкості в область негативних температур.

У разі додавання 0,67 і 1 % вагової частки мастила від кількості суміші температура крихкості зміщується з $+10$ до -5 і -16°C відповідно.

Цікаво зазначити, що під час пружнов'язкого руйнування прямі міцність при згинанні – температура паралельні за різного вмісту пластифікатора, що зумовлено впливом пластифікатора на міжмолекулярну взаємодію. Подібні результати отримані раніше Б. Б. Льєвим при визначенні довгочасової міцності асфальтобетону у разі використання бітумів різної в'язкості [13].

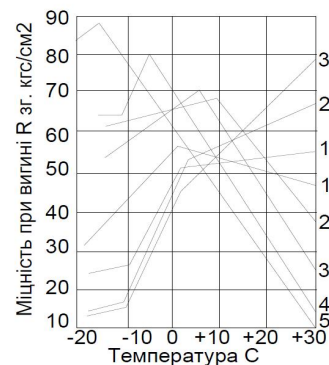


Рис. 2. Вплив кількості пластифікатора на величину температури крихкості, міцності при вигині та граничний вигин асфальтобетону $V = 55$ мм/хв / Fig. 2. Influence of the amount of plasticizer on the value of the temperature of fragility, bending strength and limiting bend of asphalt concrete $V = 55$ mm / min

У процесі експериментів записували на міліметровому папері діаграму навантажень – прогин за допомогою індуктивного датчика, підключеного до випробувальної машини ЦД-10 через посилювач, який дозволяє збільшувати фактичний прогин у 1 000 разів.

Межа прогину балочок у випадку додавання пластифікатора в кількості 0,67 і 1 % вагової частки суміші збільшується за негативних температур і зменшується за позитивних (рис. 2).

З урахуванням вищевказаного під час вибору типу і кількості пластифікатора для відновлення тріщиностійкості асфальтобетону в покритті критерієм оптимальності його кількості стають температура крихкості, відповідний прогин і міцність при згинанні, стійкість до зміщення.

Оптимальна кількість пластифікатора за всіма трьома критеріями - 0,67 % від кількості суміші по вазі.

Висновки. Запропоновано спосіб відновлення монолітності асфальтобетону в покритті шляхом уведення оптимальної кількості пластифікатора (мастила). Встановлена залежність температури крихкості напруженого асфальтобетону від швидкості деформації в інтервалі 15...544 мм/хв, температури від +50 до -20 °С дозволяє розрахувати їх $T_{кр}$ за будь-якої швидкості згинання за даними, отриманими експериментально при двох значеннях швидкості згинання. Різниця у величині $T_{кр}$ окремих асфальтобетонів у вказаному інтервалі швидкостей згинання сягає 30 °С.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В. Н. Денисов Машини для ремонта асфальтобетонных покрытий / В. Н. Денисов, В. А. Самойлов, В. Н. Соломатин, Г. К. Сюньи // Автомобильные дороги. – 1974. – № 7. – С. 13–20.
2. Реологические свойства битумоминеральных материалов : монография / [А. В. Руденский, И. М. Руденская]. – Москва : Высшая школа, 1971. – 137 с.
3. А. О. Саль. Прочность асфальтобетона на растяжении при изгибе / А. О. Саль // Автомобильные дороги. – 1967. – № 7. – С. 25–28.
4. Л. Б. Гезенцевей. Асфальтовый бетон : монография / Л. Б. Гезенцевей. – Москва : Стройиздат, 1964. – 176 с.
5. Н. В. Горелышев. О пластичности дорожного асфальтового бетона / Н. В. Горелышев, Ф. Н. Пантелеев // Труды МАДИ. – Москва : Наука, 1953. – Вып. 15. – С. 35–43.
6. Г. К. Сюньи. Дорожный асфальтовый бетон : монография / Г. К. Сюньи. – Киев : Будівельник, 1962. – 134 с.
7. М. И. Волков. Асфальтобетонные покрытия : монография / М. И. Волков. – Донецк : Донбасс, 1970. – 230 с.
8. Прочность и долговечность асфальтобетона : монография / [Б. И. Ладыгин, И. К. Яцевич]. – Москва : Наука и техника, 1972. – 153 с.
9. И. А. Рыбьев. Релаксация напряжений в асфальтовом бетоне оптимальной структуры / И. А. Рыбьев, Л. В. Голованова // Строительство и архитектура. – 1974. – № 10. – С. 54–60.
10. Релаксационные явления в полимерах : монография / Г. М. Бертенев, Ю. М. Зеленева. – Москва : Химия, 1972. – 78 с.
11. Зуев Ю. С. Зависимость температуры хрупкости резин от скоростей деформации / Ю. С. Зуев // Каучук и резина. – 1974. – № 10. – С. 57–69.
12. В. Н. Шестаков. Прогнозирование охлаждения «черных» дорожных покрытий в связи с оценкой их трещиноустойчивости / В. Н. Шестаков // Строительство и архитектура. – 1974. – № 10. – С. 43–49.
13. А. С. Колбановская. Дорожные битумы : монография / А. С. Колбановская. – Москва : Транспорт, 1973. – 67 с.

REFERENCES

1. Denisov V.N., Samoilov V.A., Solomatin V.N. and Suni G.K. *Mashinu dlya remonta asfaltobetonnykh pokrytiy* [Machines for repairing asphalt concrete pavements]. *Avtomobilnye dorogi* [Car roads]. 1974, no. 7, pp. 13–20. (in Russian).
2. Rudenskij A.V. and Rudenskaya I.M. *Reologicheskie svojstva bitumomineral'nykh materialov* [Rheological properties of bitumen mineral materials]. Moscow : Vysshaya shkola, 1971, 137 p. (in Russian).
3. Sall' A.O. *Prochnost' asfal'tobetona na rastyazhenii pri izgibe* [The strength of asphalt concrete in tension during bending]. *Avtomobil'nye dorogi* [Car roads]. 1967, no. 7, pp. 25–28. (in Russian).
4. Gezencvej L.B. *Asfal'tovyj beton* [Asphalt concrete]. Moscow : Strojizdat, 1964, 176 p. (in Russian).
5. Gorelyshev N.V. and Panteleev F.N. *O plastichnosti dorozhnogo asfal'tovogo betona* [On the plasticity of asphalt road concrete]. *Trudy MADI* [Proceedings MADI]. Vol. 15, Moscow : Nauka, 1953, pp. 35–43. (in Russian).
6. Syun'i G.K. *Dorozhnyj asfal'tovyj beton* [Road asphalt concrete]. Kyiv : Budivel'nik, 1962, 134 p. (in Russian).
7. Volkov M.I. *Asfal'tobetonnye pokrytiya* [Asphalt pavement]. Donetsk: Donbass, 1970, 230 p. (in Russian).
8. Ladygin B.I. and Yacevich I.K. *Prochnost' i dolgovechnost' asfal'tobetona* [Strength and durability of asphalt concrete]. Moscow : Nauka i tekhnika, 1972, 153 p. (in Russian).

9. Ryb'ev I.A. and Golovanova L.V. *Relaksaciya napryazhenij v asfal'tovom betone optimal'noj struktury* [Stress relaxation in asphalt concrete of optimal structure]. Construction and architecture Publ., 1974, no. 10, pp. 54–60. (in Russian).
10. Bertenev G.M. and Zeleneva Yu.M. *Relaksacionnye yavleniya v polimerah* [Relaxation phenomena in polymers]. Moscow : Himiya, 1972, 78 p. (in Russian).
11. Zuev U.S. *Zavisimost' temperatury hrupkosti rezin ot skorostej deformacii* [The dependence of the temperature of the fragility of rubber from strain rates]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber]. 1974, no. 10, pp. 57–69. (in Russian).
12. Shestakov V.N. *Prognozirovanie ohlazhdeniya «chernyh» dorozhnyh pokrytij v svyazi s ocnkoj ih treshchinoustojchivosti* [Prediction of cooling "black" pavements in connection with the assessment of their crack resistance]. Construction and architecture Publ., 1974, no. 10, pp. 43–49. (in Russian).
13. Kolbanovskaya A.S. *Dorozhnye bitumy* [Road bitumen]. Moscow : Transport, 1973, 67 p. (in Russian).

Надійшла до редакції: 07.02.2019 р.