

УДК 625.878.72

**Хафизов Э.Р.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [hafizov@kgasu.ru](mailto:hafizov@kgasu.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Семенов Д.Ю.** – геодезист

E-mail: [dima18.07.93@mail.ru](mailto:dima18.07.93@mail.ru)

**Производственно-торговая компания «ВСК-2000»**

Адрес организации: 420005, г. Казань, ул. Южно-Промышленная, д. 9

### **Повышение качества дорожных покрытий путем введения в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь добавок резиновой крошки**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью работы явилось исследование влияния добавок резиновой крошки на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона.

*Результаты.* Проведен сравнительный анализ физико-механических свойств традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона и щебеночно-мастичного асфальтобетона модифицированного резиновой крошкой из утилизированных шин «КМА» Колтек.

*Выводы.* Проведенное исследование показало, что введение резиновой крошки в щебеночно-мастичный асфальтобетон позволяет повысить показатели предела прочности на сжатие при 20 и 50°C, предела прочности на растяжение при расколе при 0 °C, сцепления при сдвиге, усталостной прочности и водостойкости, снизить показатель водонасыщения. Выявлено, что оптимальное содержание добавки резиновой крошки в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона составляет 1 %. Повышения качества и увеличения сроков службы дорожных покрытий автомобильной дороги можно добиться за счет введения на этапе приготовления в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси модифицирующей добавки – резиновой крошки.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, щебеночно-мастичный асфальтобетон, резиновая крошка, прочность, модификатор.

Для эффективного функционирования и роста экономики государства необходимо развитие торговли, сельского хозяйства, отраслей промышленности и др. Для этого необходимы качественные и долговечные автомобильные дороги, соответствующие действующим транспортно-эксплуатационным показателям, что способствует увеличению товарооборота как внутри страны, так и за ее пределами. В связи с развитием этих сфер в России возрастает интенсивность движения, и увеличиваются нагрузки на дорожное покрытие. Основными дефектами образующимися в процессе эксплуатации автомобильных дорог являются проломы, трещины, шелушение, выбоины, колеиность.

Еще одной проблемой является утилизация мусора, в частности резиновых автомобильных покрышек. С ростом числа автомобилей эта проблема так же становится очень актуальной. Покрышки не подвергаются биологическому разложению, поэтому их утилизация заключается в основном в захоронении и сжигании. При этом ухудшается экологическая обстановка. Наиболее предпочтительна переработка изношенных шин с дальнейшим использованием вторичного сырья [1]. Это позволит улучшить экологическую обстановку и исключит утрату больших территорий под захоронение резиновых отходов.

Применение резиновой крошки в качестве добавки в асфальтобетонную смесь решает сразу две проблемы – повышение качества покрытий и утилизация изношенных шин. Со строительством завода компанией «Колтек Кама» в г. Нижнекамске, основной специализацией которой является, сбор, переработка шин, изготовление резиносодержащего модификатора для дорожных покрытий решение вопроса утилизации отработанных шин является очень актуальным.

В России и за рубежом для устройства верхних слоев дорожных покрытий широко используются многощелебнистые асфальтобетоны, в частности щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). Исследования показывают, что при испытаниях различных гранулометрических составов асфальтобетонов, многощелебнистые асфальтобетоны превосходят по показателям физико-механических свойства асфальтобетонов других типов [2].

В данной статье рассмотрены результаты влияния добавок резиновой крошки в щебеночно-мастичный асфальтобетон марки ЩМА 15.

Существует два способа использования резиновой крошки при приготовлении асфальтобетонной смеси. Первый способ заключается в использовании резино-битумных вяжущих – «мокрый» способ. Этот способ наиболее затратный, он требует специального оборудования для модификации битума резиновой крошкой, который затем вводится в асфальтосмесительную установку. Приготовление резино-битумных вяжущих осуществляется в реакционных котлах при температурах от 190 °С до 226 °С в течение 45 минут. Второй способ заключается во введении резиновой крошки непосредственно во время приготовления асфальтобетонной смеси в смеситель – «сухой» способ. Он менее затратный, так как в качестве дополнительного оборудования требуется только дозатор, который может обеспечить точность дозирования  $\pm 5\%$ . Резиновая крошка вводится в не нагретом состоянии к минеральным материалам, в процессе перемешивания нагревается, далее подается битум и асфальтобетонная смесь перемешивается. Кроме того, если ранее производился щебеночно-мастичный асфальтобетон, то модернизация асфальтосмесительной установки не требуется, так как при введении резиновой крошки, за счет модификации битума, отпадает необходимость в использовании стабилизирующей добавки и ее дозирование может осуществляться тем же оборудованием.

В статье рассматривается приготовление асфальтобетонной смеси по второму способу. При введении добавок резиновой крошки в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь происходит модификация битума на этапе ее приготовления за счет растворения части резиновой крошки и воздействия химических компонентов. Частицы мелкодисперсной резиновой крошки не растворившиеся в вяжущем работают в асфальтобетоне, как эластичные центры, которые снимают внутренние напряжения и уменьшают пластические деформации. За счет образования трёхмерного микрокаркаса повышается прочность асфальтобетона и снижается его чувствительность к температурным воздействиям. Объемная сетчатая структура резиновых частиц повышает стойкость к циклическим деформациям в широком диапазоне эксплуатационных температур, усталостную прочность асфальтобетона и уменьшает остаточные деформации покрытия, предотвращая образование микротрещин [3, 4, 5].

Для определения влияния добавок резиновой крошки на физико-механические свойства ЩМА, были изготовлены образцы ЩМА на битуме марки БНД 60/90 с содержанием резиновой крошки от 0,5 до 1,5 % (табл. 1). В качестве добавки был взят комплексный модификатор асфальтобетона «КМА» компании Колтек Кама – СТО 17423242-006-2007 «Комплексный модификатор асфальтобетон «КМА» Колтек. Технические условия». Основным его компонентом является мелкодисперсный резиновый порошок из утилизированных автомобильных шин. Так же в его состав входят: ускоритель набухания резины в битуме, сшивающий агент, гелеобразующая адгезионная добавка, для предотвращения отслоения битумной плёнки с поверхности минеральных материалов асфальтобетона, пластификатор, антиоксидант, минеральный наполнитель.

Испытания проводились на стандартных цилиндрических образцах ЩМА высотой  $71,4 \pm 1,5$  мм по ГОСТ 12801-98. Определялись следующие физико-механические показатели: предел прочности при сжатии при 20 и 50 °С, предел прочности на растяжение при расколе при 0 °С, водонасыщение, водостойкость, сцепление при сдвиге (табл. 2), показатель усталостной прочности (табл. 3). Эффективность резиновой крошки в зависимости от ее содержания в составе щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, определялась путем сравнения показателей физико-механических свойств образцов приготовленных из смеси с модификатором и образцов из традиционных щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Также проверялось соответствие физико-механических показателей требованиям ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия».

Таблица 1

**Составы щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей**

Компоненты ЩМА	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3	Состав № 4
Щебень М 1200, фр. 10-15 мм	48 %	48 %	48 %	48 %
Щебень М 1200, фр. 5-10 мм	20 %	20 %	20 %	20 %
Песок из отсевов дробления 0-5 мм	20 %	20 %	20 %	20 %
Активированный минеральный порошок марки МП-1	12 %	12 %	12 %	12 %
Стабилизирующая добавка «Viator 66» (целлюлозная)	0,45 %	0 %	0 %	0 %
Модификатор «КМА» Колтек	0 %	0,5 %	1,0 %	1,5 %
Битум БНД 60/90	6 %	6 %	6 %	6 %

Таблица 2

**Показатели физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона с различным содержанием резиновой крошки**

Содержание резиновой крошки, %	Предел прочности при сжатии, МПа		Предел прочности на растяжение при расколе, МПа	Водонасыщение	Водостойкость	Сцепление при сдвиге
	При 20 °С	При 50 °С				
0	2,8	1,1	3,6	2,8	0,86	0,23
0,5	3,3	1,4	4,1	2,4	0,90	0,28
1,0	3,6	1,7	4,4	2,2	0,93	0,34
1,5	3,8	1,8	4,4	2,1	0,94	0,36
Требование по ГОСТ 31015-2002	не менее 2,2	не менее 0,65	2,5-6,0	1,0-4,0	не менее 0,85	не менее 0,18

Из анализа графика на рис. 1 видно, что введение в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси модификатора «КМА» Колтек в количестве 0,5 % от массы минеральной части взамен стабилизирующей добавки «Viator 66» позволяет увеличить показатель предела прочности на сжатие асфальтобетона при 50 °С на 21 %, при увеличении содержания модификатора до 1,0 % данный показатель увеличивается на 35 %, далее при увеличении содержания модификатора до 1,5 % предел прочности на сжатие возрастает незначительно – увеличение составляет 38 %.

Из графика (рис. 2) видно, что введение в состав ЩМА модификатора «КМА» Колтек в количестве 1,0 % от массы минеральной части однозначно положительно влияет на повышение предела прочности на растяжении при расколе. Увеличение предела прочности составляет 18 %, при дальнейшем увеличении содержания резиновой крошки данный показатель не изменяется. Частицы резиновой крошки, входящие в структуру ЩМА служат центрами торможения и развития трещин, поэтому при прочих равных условиях ЩМА с модификатором будет более трещиностойким при пониженных температурах по сравнению с традиционным ЩМА.

Введение резиновой крошки, также положительно сказывается и на показателе водонасыщения ЩМА. Так, например, введение 0,5 % добавки в смесь приводит к снижению данного показателя на 14 %, а введение 1 % добавки до 21 %. Следовательно, структура ЩМА с добавкой модификатора обладает большим количеством замкнутых пор в объеме, что приводит к снижению показателя водонасыщения и повышению водостойкости (табл. 2).

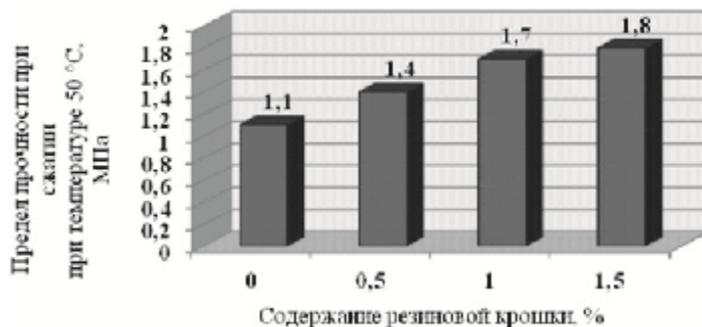


Рис. 1. Зависимость показателя предел прочности при сжатии при температуре 50 °С щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА 15 от содержания резиновой крошки

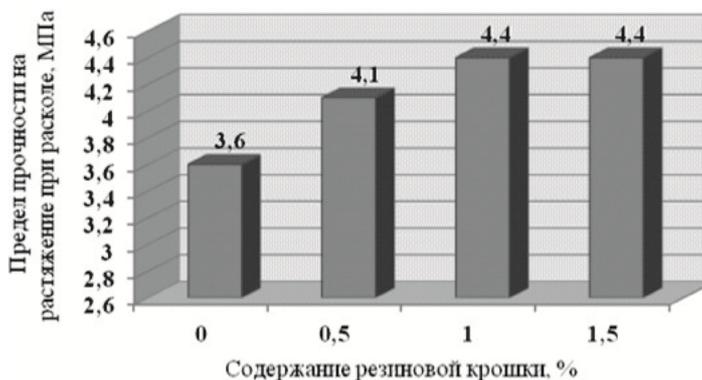


Рис. 2. Зависимость показателя предела прочности на растяжение при расколе щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА 15 от содержания резиновой крошки

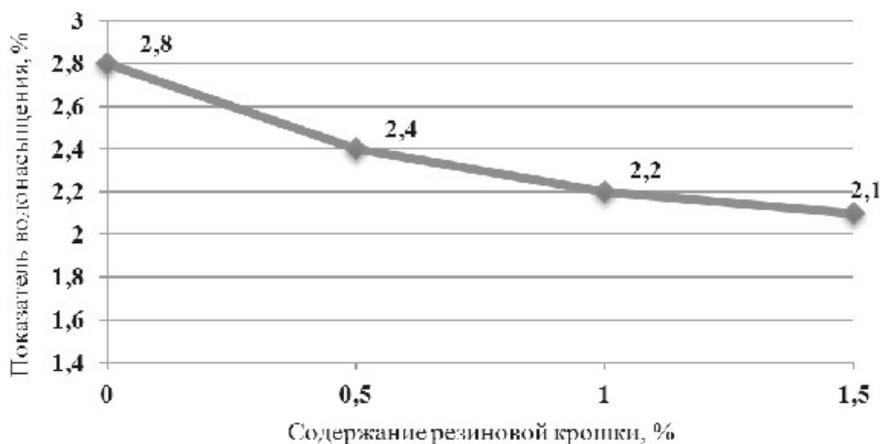


Рис. 3. Зависимость показателя водонасыщения щебеночно-мастичного асфальтобетона

Из графика (рис. 4) видно, что введение в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМА 15 модификатора «КМА» Колтек, в количестве 0,5% от массы минеральной части взамен стабилизирующей добавки Viator 66 позволяет повысить показатель сцепления при сдвиге асфальтобетона на 18 %, при увеличении содержание модификатора до 1,0 % этот показатель увеличивается на 32 %, а при увеличении до 1,5 % коэффициент сцепления при сдвиге асфальтобетона увеличивается незначительно – до 36 %. Согласно ГОСТ 31015-2002 значение сцепления при сдвиге по схеме Маршалла для ЩМА марки 15 должно быть не менее 0,18, следовательно ЩМА с применением резиновой крошки будет более сдигоустойчивым, что положительно скажется при его эксплуатации в жаркий летний период.

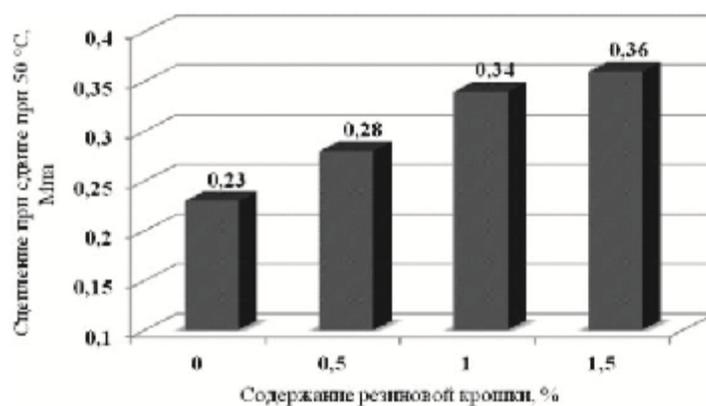


Рис. 4. Зависимость сцепления при сдвиге щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА 15 от содержания резинового крошки

Для получения результатов влияния резиновой крошки на показатель усталостной прочности образцов ЩМА проводилось испытание, сущность которого заключается в определении числа циклов нагружения образца до его разрушения при заданном напряжении. Для проведения испытания была использована пневматическая система компании Cooper Research Technology CRT-SA4PT-BB с использованием программного обеспечения BEAM-FLEX фирмы Cooper Research Technology.

На установке образец подвергается циклической нагрузке равной 50 % от значения предела прочности при сжатии при 20 °С, направленной попеременно вверх-вниз. Чем большее количество циклов нагружения до потери 50 % прочности выдерживает образец из асфальтобетонной смеси, тем более долговечным он считается.

Результаты определения максимального количества циклов, которое выдержал образец до разрушения с различным содержанием резиновой крошки по методу 4-х точечного изгиба представлены в табл. 3.

Таблица 3

#### Результаты определения усталостной прочности образцов ЩМА

Содержание резиновой крошки, %	Количество циклов нагружения до разрушения при нагрузке равной 50 % от значения предела прочности при сжатии при 20 °С
0	12412
0,5	14405
1,0	15175
1,5	14293

Введение в состав ЩМА резиновой крошки в количестве 0,5 % от массы минеральной части позволило повысить показатель усталостной прочности на 16 %, при увеличении содержания крошки до 1,0 % данный показатель повысился на 22 %, а при увеличении содержания крошки до 1,5 % показатель усталостной прочности повышается на 15 % по сравнению с исходным составом на стабилизирующей добавке Viatop 66.

На основе проведенных исследований можно заключить, что оптимальным содержанием добавки резиновой крошки в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь является 1 %, так как дальнейшее увеличение содержания модификатора до 1,5 % не приносит значительного улучшения свойств. Введение резиновой крошки в процессе приготовления в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси, однозначно положительно влияет на физико-механические свойства ЩМА.

Проведенные технико-экономические расчеты показали, что, несмотря на увеличение стоимости работ, по устройству верхних слоев покрытий из ЩМА с резиновой крошкой (3551644 руб. на 1 км), взамен ЩМА без добавления резиновой крошки и укладкой по традиционной технологии (2577537 руб. на 1 км) экономическая эффективность составит 744251 руб. на 1 км дороги шириной покрытия 7 м, то есть приблизительно 20 % при повышении межремонтного срока службы с 3-х до 5-и лет.

Таким образом, резиновая крошка улучшая физико-механические свойства ЩМА, повышает качество дорожных покрытий, а также способствует повышению их сроков службы и долговечности, тем самым уменьшая затраты на содержание и ремонт автомобильной дороги и улучшает экологическую обстановку. Кроме того, введение резиновой крошки в состав ЩМА повысит коэффициент сцепления автомобильных шин с покрытием дороги, и что немаловажно снизит уровень шума, позволит сократить расходы на устройство шумопоглощающих барьеров.

Однако для внедрения модификатора «КМА» Колтек в масштабное использование при устройстве верхних слоев покрытий необходимы исследования путем строительства опытных участков и мониторинга их состояния. Также дополнительно необходимо провести исследования на старение резино-битумного вяжущего и стойкости к колееобразованию ЩМА в соответствии с современными нормативными требованиями. При получении положительных результатов будет решен ряд вопросов по улучшению качества покрытий автомобильных дорог и утилизации изношенных шин транспортных средств.

### Список библиографических ссылок

1. Нефедов Б. К. Новая технология производства качественных резинобитумных связующих для асфальтобетонных дорожных покрытий // Экология и промышленность России. 2008. № 5. С. 8–12.
2. Хафизов Э. Р., Вдовин Е. А., Ильина О. Н., Фомин А. Ю. Исследования физико-механических свойств многощелебнистых асфальтобетонов на основе полимерно-битумных вяжущих // Известия КГАСУ. 2016. № 1 (35). С. 211–215.
3. Руденский А. В., Смирнов Н. В. Для всех климатических зон. Композиционные резинобитумные материалы широкого применения // Дороги России XXI века. 2002. № 3. С. 86–88.
4. Беляев П. С., Маликов О. Г., Забавников М. В., Соколов А. Р. Повышение качества нефтяных битумов путем модификации продуктами переработки изношенных автомобильных шин // Вестник ТГТУ. 2003. № 1 (Т. 9). С. 63–69.
5. Духовный Г. С., Сачкова А. В. Эффективность применения резинобитумного вяжущего при устройстве асфальтобетонных покрытий // Научный ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2014. № 2 (34). С. 19–23.
6. Мардиросова И. В. Плотная вибролитая асфальтобетонная смесь для строительства и ремонта автомобильных дорог с использованием резиновой крошки // Известия Ростовского ГСУ. 2012. № 8. С. 231–24.
7. Волынцев П. А. Преимущества асфальтобетонных покрытий с резиновой крошкой // Молодой ученый. 2016. № 17 (121). С. 38–40.
8. Nuha Salim Mashaan, Asim Hassan Ali, Mohamed Rehan Karim, Mahrez Abdelaziz. A Review on Using Crumb Rubber in Reinforcement of Asphalt Pavemen // The Scientific World Journal. Malaysia. 2014. Article ID 214612. 21 p.
9. Norhidayah Abdul Hassan, Gordon D. Airey, Ramadhansyah Putra Jaya, Nordiana Mashros. A Review of Crumb Rubber Modification in Dry Mixed Rubberised Asphalt Mixtures // Jurnal Teknologi. 2014. P. 127–134.
10. Wang H., You Z., Mills-Beale J., Hao P. Laboratory evaluation on high temperature viscosity and low temperature stiffness of asphalt binder with high percent scrap tire rubber // Construction and Building Materials. 2012. № 26 (1). P. 583–590.

**Khafizov E.R.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [hafizov@kgasu.ru](mailto:hafizov@kgasu.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Semenov D.Yu.** – surveyor

E-mail: [dima18.07.93@mail.ru](mailto:dima18.07.93@mail.ru)

**Production trading company «VSK-2000»**

The organization address: 420005, Russia, Kazan, Juzhno-Promyshlennaja st., 9

### Improvement of quality of road surfacing by introduction to macadam-mastic bituminous concrete mixture of rubber crumb additives

*Problem statement.* The purpose of work was the research of influence of additives of rubber crumb on properties of stone mastic asphalt.

*Results.* Comparative analysis of physicomechanical properties of the traditional stone mastic asphalt and stone mastic asphalt modified by rubber crumb from the utilized tires of «КМА» Koltek is carried out.

*Conclusions.* The conducted research has shown that introduction of rubber crumb to stone mastic asphalt allows to raise ultimate strength indicators on compression at 20 and 50 °C, ultimate strength on stretching at split at 0 °C, couplings at shift, fatigue resistance and water resistance, to lower water saturation indicator. It is revealed that the optimum content of additive of rubber crumb as a part of stone mastic asphalt makes 1 %. Improvement of quality and increase in life cycles of road surfacing of the highway can achieve due to introduction at preparation stage to structure of crushed-stone and mastic road concrete mix of the modifying additive – rubber crumb.

**Keywords:** highway, stone mastic asphalt, rubber crumb, durability, modifier.

### References

1. Nefedov B. K. New production technique qualitative rubber-bituminous binding for asphalt concrete road surfacings // *Ekologija i promyshlennost' Rossii*. 2008. № 5. P. 8–12.
2. Khafizov E. R., Vdovin E. A., Ilina O. N., Fomin A. Y. Research of physicomechanical properties of crushed stone asphalt concrete with the use of polymeric and bituminous knitting // *Izvestiya KGASU*. 2016. № 1 (35). P. 211–215.
3. Rudensky A. V., Smirnov N. V. For all climatic zones. Compositional rubber-bituminous materials of broad application // *Dorogi Rossii XXI veka*. 2002. № 3. P. 86–88.
4. Belyaev P. S., Malikov O. G., Zabavnikov M.V., Sokolov A. R. Improvement of quality of oil bitumens by modification by products of processing of worn-out car tires // *Vestnik TGTU*. 2003. № 1 (Vol. 9). P. 63–69.
5. Duhovnyj G. S., Sachkova A. V. Efficiency of application of rubber-bituminous knitting at the device of asphalt concrete coverings // *Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2014. № 2 (34). P. 19–23.
6. Mardirosova I. V. Dense vibrocast road concrete mix for construction and repair of motor-roads with use of rubber crumb // *Izvestija RGSU*. 2012. № 8. P. 231–24.
7. Volyntsev P. A. Advantages of asphalt concrete coverings with rubber crumb // *Molodoj uchenyj*. 2016. № 17 (121). P. 38–40.
8. Nuha Salim Mashaan, Asim Hassan Ali, Mohamed Rehan Karim, Mahrez Abdelaziz. A Review on Using Crumb Rubber in Reinforcement of Asphalt Pavemen // *The Scientific World Journal. Malaysia*. 2014. Article ID 214612. 21 p.
9. Norhidayah Abdul Hassan, Gordon D. Airey, Ramadhansyah Putra Jaya, Nordiana Mashros. A Review of Crumb Rubber Modification in Dry Mixed Rubberised Asphalt Mixtures // *Jurnal Teknologi*. 2014. P. 127–134.
10. Wang H., You Z., Mills-Beale J., Hao P. Laboratory evaluation on high temperature viscosity and low temperature stiffness of asphalt binder with high percent scrap tire rubber // *Construction and Building Materials*. 2012. № 26 (1). P. 583–590.