

ДОБАВКИ В ХОЛОДНЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ ИЗ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Инж. **ВАВИЛОВ П. В.¹⁾**, канд. техн. наук, доц. **КРАВЧЕНКО С. Е.²⁾**

¹⁾ОТН ГПО «Горремавтодор Мингорисполкома» (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

E-mail: p.vavilov@gmail.com

Рассмотрены вопросы применения добавок в холодные асфальтобетоны из эмульсионно-минеральных смесей. Актуальность данной проблемы заключается в необходимости обоснования и регламентирования использования добавок для регулирования свойств холодных асфальтобетонов. Обобщены результаты анализа нормативных, литературных и других источников, касающихся применения добавок в холодные асфальтобетоны из эмульсионно-минеральных смесей.

Предлагается и обосновывается классификация добавок в холодные асфальтобетоны по их функциональному назначению (основное назначение действия добавки) на: повышающие прочность, водостойкость, долговечность; регулирующие формирование и технологические модификаторы. В зависимости от назначения предложены критерии технической эффективности использования добавок. Для каждого из критериев предлагаются методики определения одного или нескольких качественных показателей, изменение которых указывает на эффективность добавки. Приводятся формулы для нахождения эффективности добавок, предназначенных для сокращения периода формирования холодных асфальтобетонов из эмульсионно-минеральных смесей. В качестве примера представлены расчет и анализ эффективности добавок для регулирования (ускорения) формирования структуры холодных асфальтобетонов по ранее опубликованным экспериментальным данным. Эффективность добавок, регулирующих формирование, определена на основании функций изменения во времени предела прочности на сжатие и динамического модуля упругости холодных асфальтобетонов из эмульсионно-минеральных смесей.

Приводится примерный перечень материалов, которые могут или в настоящее время применяются в качестве регулирующих добавок в холодные асфальтобетоны. Предложенные классификация и критерии могут служить основанием для целенаправленного регулирования составов и свойств холодных асфальтобетонов из эмульсионно-минеральных смесей.

Ключевые слова: добавки, классификация, критерии эффективности, эмульсионно-минеральные смеси.

Табл. 3. Библиогр.: 19 назв.

ADDITIVES FOR COLD ASPHALT-CONCRETE MADE FROM EMULSION-MINERAL MIXES

VAVILOV P. V.¹⁾, KRAVCHENKO S. E.²⁾

¹⁾SIA "Gorremavtodor Mingorispolkoma" (City Automobile Road Repair Organization of Minsk City Executive Committee) (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

The paper considers application of additives for cold asphalt-concrete made from emulsion-mineral mixes. Significance of the problem is in necessity to substantiate and control usage of the additives in order to regulate properties of the cold asphalt-concrete. Analysis results of reference, literature and other sources pertaining to application of additives for the cold asphalt-concrete made from emulsion-mineral mixes have been generalized in the paper.

The paper proposes and justifies a classification of additives for cold asphalt-concrete according to its functional purpose (main purpose of additive application): strength improvement, water resistance, durability, regulation of formation and technological modifiers. Depending on the application purpose criteria on technical efficiency of additive usage have been offered in the paper. Methodology for determination of one or several quality indicators has been proposed for every criterion. Criterion changes show the additive efficiency. The paper describes formulae for determination of the additive efficiency which are intended for reduction of the period which is required for formation of cold asphalt-concrete made from emulsion-mineral mixes. Calculation and analysis of the additive efficiency for regulation (acceleration) of structure formation in asphalt-concrete have been presented as an example according to previously published experimental data. Efficiency of the additives regulating formation process has been determined on the basis of functions for temporal changes in ultimate compressive strength and dynamic elasticity modulus of the cold asphalt-concrete made from emulsion-mineral mixes.

The paper contains generic list of materials that can be used or which are currently used as additives for cold asphalt-concrete. The proposed classification and criteria can serve as a basis for purposeful regulation of compositions and properties of the cold asphalt-concrete made from emulsion-mineral mixes.

Keywords: additives, classification, efficiency criteria, emulsion-mineral mixes.

Tab. 3. Ref.: 19 titles.

Введение. Эмульсионно-минеральные смеси (ЭМС) для устройства несущих слоев дорожных одежд в Беларуси применяются уже более 40 лет. Отечественный опыт последних 10 лет использования данной технологии свидетельствует о том, что значительное улучшение характеристик холодных асфальтобетонов из ЭМС возможно с применением специальных добавок. Однако в данном вопросе существуют определенные терминологические разногласия, не регламентирован порядок применения добавок, отсутствуют критерии их технической эффективности.

Классификация добавок в холодные асфальтобетоны. Нормативные документы [1–4] различным образом называют и определяют добавки в смеси с использованием катионных битумных эмульсий: уплотняющая добавка (ускоритель формирования), структурирующая добавка [1]; активная добавка [2]; добавка [3], регулятор скорости формирования; минеральная добавка, волокнистая добавка [4]. Учитывая, что добавки в холодные асфальтобетоны вводят для целенаправленного изменения (регулирования) какого-либо свойства одного или нескольких исходных компонентов, процессов их взаимодействия, а также и всей смеси, предлагаем использовать объединяющий термин «добавки (регулирующие)».

За основу классификации регулирующих добавок возьмем их функциональное назначение

(основное назначение действия добавки) аналогично [5]. Таким образом, учитывая особенности физико-химических процессов, протекающих в ЭМС, свойства ЭМС [6–8], технологии приготовления и применения холодных асфальтобетонов [9], регулирующие добавки разделим на пять классов:

- повышающие прочность;
- повышающие водостойкость;
- регулирующие формирование;
- технологические модификаторы;
- повышающие долговечность.

Критерии технической эффективности добавок и методы их определения. В основу оценки эффективности регулирующих добавок заложим сравнение показателей холодного асфальтобетона контрольного (не содержащего добавки) и основного составов (с добавкой) аналогично определению эффективности добавок в бетоны [10]. Испытания проводили в нормативном возрасте (14 сут.) и в ранние сроки (для добавок, регулирующих формирование) с целью подтверждения двух положений:

- добавка обеспечивает заявленный основной эффект;
- в возрасте 14 сут. холодный асфальтобетон соответствует нормативным требованиям.

На основании анализа нормативных [4, 5, 10] и других [7, 9, 11, 12] источников использовали критерии технической эффективности регулирующих добавок, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Критерии эффективности регулирующих добавок

Добавка	Основной эффект от воздействия	Критерий технической эффективности				
		Качественный показатель			Критерий	
		Свойство/Показатель	Обозначение	Методика	Обозначение	Нормируемое значение
1. Повышающая прочность	Повышение прочности холодного асфальтобетона из ЭМС	Предел прочности на сжатие при температуре 20 °С в возрасте 14 сут., МПа	$R_{сж}^{осн}$, $R_{сж}^k$	[1]	$\Delta R_{сж}$	$\Delta R_{сж} \geq 20 \%$
2. Повышающая водостойкость	Повышение водостойкости холодного асфальтобетона из ЭМС	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	$K^{осн}$, K^k	[1]	ΔK	$\Delta K \geq 20 \%$
3. Регулирующая формирование	Ускорение формирования холодного асфальтобетона из ЭМС	Скорость изменения предела прочности на сжатие, МПа/сут.	$R_{сж}^{осн}$, $R_{сж}^k$	[1]	$\Delta a_{сж}$ и/или $\Delta b_{сж}$	$\Delta a_{сж} \geq 15 \%$ и/или $\Delta b_{сж} \geq 15 \%$
4. Технологические модификаторы	Улучшение процесса перемешивания ЭМС/изменение срока хранения ЭМС	Усилие сдвига в определенных промежуточные времени, МПа	$R_{сд}^{осн}$, $R_{сд}^k$	[13]	$\Delta R_{сд}$	$(R_{сд}^{осн} - R_{сд}^k) \rightarrow$ оптимальное значение
5. Повышающая долговечность	Повышение долговечности холодного асфальтобетона из ЭМС	Прогнозируемая усталостная повреждаемость в возрасте 14 (28) сут., %	$D_{п}^{осн}$, $D_{п}^k$	[14]	$\Delta D_{п}$	$(D_{п}^{осн} - D_{п}^k) \geq 0,5 \%$

Аналогично [10] критерии эффективности ΔКП, %, добавок № 1–3 (табл. 1) определим следующим образом:

$$\Delta КП = \frac{КП^{осн} - КП^k}{КП^k} \cdot 100, \quad (1)$$

где $КП^{осн}$, $КП^k$ – качественный показатель (изменение которого указывает на эффективность добавки) холодного асфальтобетона основного и контрольного составов.

Качественные показатели эффективности добавок (за исключением технологических модификаторов) находят с помощью общеизвестных методик, потому определение технической эффективности не должно вызывать затруднений. Технологический модификатор перемешивания должен обеспечить снижение до приемлемого уровня сдвигового усилия, возникающего при перемешивании компонентов ЭМС в смесителе. Модификаторы хранения должны увеличивать период времени, в течение которого когезия смеси в штабеле остается на уровне, позволяющем выполнять производственные операции по хранению и укладке. Фактические значения этих показателей еще предстоит установить. Для определения оптимального количества технологических модификаторов наиболее подходящим представляется испытание на технологичность по методике Nupas [13], позволяющее напрямую измерить усилие сдвига, возникающее при перемещении компонентов (слоев) смеси относительно друг друга в различные моменты времени. В качестве альтернативных (косвенных) способов можно использовать стандартные методики: испытание на слеживаемость [14, 15], метод динамического зондирования [16], способ ударного уплотнения на приборе «СоюздорНИИ» [17].

Для добавок, регулирующих формирование, предварительно необходимо установить временную функцию изменения предела прочно-

сти на сжатие холодного асфальтобетона основного и контрольного составов вида:

$$R_{сж}^{осн}(T) = a_{сж}^{осн} \ln T + b_{сж}^{осн}; \quad (2)$$

$$R_{сж}^k(T) = a_{сж}^k \ln T + b_{сж}^k, \quad (3)$$

где $a_{сж}^{осн}$, $a_{сж}^k$ – коэффициент, характеризующий скорость изменения предела прочности на сжатие образцов основного и контрольного составов, МПа/сут.; $b_{сж}^{осн}$, $b_{сж}^k$ – свободный член функции предела прочности на сжатие, характеризующий начальную прочность на сжатие образцов основного и контрольного составов, МПа; T – возраст образцов холодного асфальтобетона, сут.

При установлении функций (2) и (3) прочность на сжатие определяли в раннем (1–7 сут.) и нормативном (14 сут.) возрасте. Затем находили критерий эффективности по формуле (1). Для снижения трудоемкости процесса установления оптимального расхода добавки (необходимо изготовить 12 образцов для одного расхода добавки) использовали динамический импульсный метод контроля [18]. Для этого брали всего три образца, а в случае параллельных испытаний на долговечность – образцы, предназначенные для определения усталостной повреждаемости.

Для примера в табл. 2 и 3 приведен расчет эффективности добавок в холодные асфальтобетоны по ранее опубликованным данным [19].

Высокий уровень статистической значимости временных функций является причиной больших значений критериев эффективности добавок, а также разницы между величинами критериев эффективности, вычисленных по скорости изменения предела прочности и модуля упругости. Таким образом, для получения достоверных данных о влиянии расхода добавки на скорость формирования холодного асфальтобетона необходимо получить надежные временные функции прочности и модуля упругости.

Таблица 2

Расчет эффективности добавок для ЭМС на основе отсева дробления [19]

Состав	$R_{сж}(T) = a_{сж} \ln T + b_{сж}$			Критерий эффективности, %		$R_E(T) = a_E \ln T + b_E$			Критерий эффективности, %	
	$a_{сж}$	$b_{сж}$	p -уровень	$\Delta a_{сж}$	$\Delta b_{сж}$	a_E	b_E	p -уровень	Δa_E	Δb_E
X(о) 40 МПа	0,1169	1,5416	0,0747	–	–	597,6994	1492,8168	0,3242	–	–
X(о/у) 40 МПа	0,5548	1,1110	0,1876	375	–28	640,0164	1548,9005	0,0234	7	4
X(о/и) 40 МПа	0,3956	0,9109	0,3335	238	–41	451,9180	1609,9849	0,1688	–24	8

Таблица 3

Расчет эффективности добавок для ЭМС на основе природного песка [19]

Состав	$R_E(T) = a_E \ln T + b_E$			Критерий эффективности, %		Состав	$R_E(T) = a_E \ln T + b_E$			Критерий эффективности, %	
	a_E	b_E	p -уровень	Δa_E	Δb_E		a_E	b_E	p -уровень	Δa_E	Δb_E
X(п) 20 МПа	831,6738	556,5613	0,2534	—	—	X(п) 40 МПа	95,5628	2327,5962	0,8933	—	—
X(п/д) 20 МПа	1012,1230	26,5399	0,0233	22	–95	X(п/д) 40 МПа	1348,4150	–420,1040	0,0245	1311	–118
X(п/и) 20 МПа	970,7969	–83,4273	0,1440	17	–115	X(п/и) 40 МПа	1477,8130	–764,7914	0,0055	1446	–133

Предложенная классификация добавок требует проведения дополнительных исследований в части испытательных методик, нормируемых значений критериев эффективности. Кроме того, классификация также требует уточнения, поскольку добавки в ЭМС часто обладают несколькими положительными эффектами, которые целесообразно указывать одновременно.

Материалы, применяемые в качестве регулирующих добавок для холодных асфальтобетонов, можно классифицировать следующим образом:

- повышающие прочность – тонкодисперсные минеральные материалы (цементы, извести, золы уноса, минеральные порошки, фосфорные шлаки, порошковые отходы [2], дефека и т. д.);
- повышающие водостойкость – поверхностно-активные вещества (ПАВ);
- регуляторы формирования – уплотняющие добавки [1], карбонатные и т. п. шламы, ПАВ, тонкодисперсные минеральные материалы;
- технологические модификаторы – вода предварительного увлажнения, ПАВ, пластификаторы битума, растворители;
- повышающие долговечность – катионные латексы, полимерные добавки, волокнистые материалы [4].

ВЫВОД

Разработка классификации добавок в холодные асфальтобетоны и установление критериев их технической эффективности позволят наиболее рационально подходить к выбору дополнительных компонентов в эмульсионно-минеральные смеси, обоснованно назначать их расход и целенаправленно изменять свойства

холодных асфальтобетонов, что послужит новым импульсом для совершенствования дорожно-строительных материалов данного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные дороги. Правила устройства покрытий и оснований из эмульсионно-минеральных смесей: ТКП 306–2011 (02191) – Введ. 01.06.2001. – Минск: Департамент «Белавтодор», 2011. – 27 с.
2. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства: ГОСТ 30491–97. – Введ. 01.03.1998. – Минск: Минстройархитектуры, 1998. – 21 с.
3. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий: к СНиП 3.06.03–85. – Введ. 25.03.1987. – М.: Стройиздат, 1989. – 56 с.
4. Смеси асфальтобетонные литые холодные для устройства защитных слоев. Технические условия: СТБ 2036–2010. – Введ. 01.08.2010. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2010. – 20 с.
5. Добавки для бетонов. Общие технические условия: СТБ 1112–98. – Взамен ГОСТ 24211–91; введ. 01.01.1999. – Минск: Минстройархитектуры, 1999. – 23 с.
6. Костова, Н. З. К вопросу о механизме взаимодействия катионных битумных эмульсий с минеральными материалами / Н. З. Костова, И. А. Плотнокова, Э. М. Рвачева // Труды СоюздорНИИ, – М.: СоюздорНИИ, 1977. – Вып. 100. – С. 93–107.
7. Bitumen Emulsion / Under the Coordination M. Cyna, M.-F. Ossola. – Paris: RGRA, USIRF, 2008. – С. 225–226.
8. Cold Mix Technology: The Contribution from the Optel Project / B. Eckmann [et al.] // Revue Générale des Routes et des Aerodromes. – 2001. – № 792. – Р. 6–15.
9. Вавилов, П. В. Смеси эмульсионно-минеральные. Методы подбора состава и испытаний. Технические требования и свойства. Обзорная информация / П. В. Вавилов, С. Е. Кравченко, Н. В. Радков. – Минск: БелдорНИИ, 2012. – С. 4–10.
10. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности: ГОСТ 30459–96. – Введ. 01.07.98. – Минск: Минстройархитектуры, 1997. – 40 с.
11. Исследование, совершенствование составов, технологии получения и применения эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным сроком формирования: отчет о НИР (закл.) / Государственное предприятие «БелдорНИИ». – Минск, 2009. – № ГР 20071425. – Арх. № 1113.

12. Исследование свойств и разработка технологии получения и применения структурированных волокнистыми добавками эмульсионно-минеральных смесей: отчет о НИР (закл.) / Государственное предприятие «БелдорНИИ». – 2010. – № ГР 20090803. – Арх. № 1163.

13. Characterisation of Cold Mixes with Regard to Workability and Cohesion Build-up / B. Eckmann [et al.] // *Revue Générale des Routes et des Aerodromes*. – 2002. – January. – № 802.

14. Рекомендации по повышению усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: ДМД 02191.2.042–2010. – Введ. 01.02.2011. – Минск: Департамент «Белавтодор», 2010. – 23 с.

15. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний: СТБ 1115–2004. – Введ. 01.01.2005. – Минск: Минстройархитектуры, 2005. – 36 с.

16. Плотномер динамический. Технические условия: СТБ 1242–2000. – Введ. 01.07.2001. – Минск: Минстройархитектуры, 2001. – 8 с.

17. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности: ГОСТ 22733–2002. – Взамен ГОСТ 22733–77; введ. 01.01.06. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 12 с.

18. Рекомендации по определению динамического модуля упругости асфальтобетона методом неразрушающего динамического импульса: ДМД 02191.2.044–2011. – Введ. 01.03.2011. – Минск: Департамент «Белавтодор», 2011. – 10 с.

19. Вавилов, П. В. Дорожные бетоны из эмульсионно-минеральных смесей с модифицирующими добавками. Оценка и прогнозирование срока их формирования / П. В. Вавилов, С. Е. Кравченко // *Автомобильные дороги и мосты*. – 2011. – № 2 (8). – С. 58–68.

Поступила 08.07.2014

REFERENCES

1. ТКР [Technical Code of Good Practice] 306–2011 (02191) Automobile Roads. Regulations on Road Pavement and Pavement Base while Using Emulsion-Mineral Mixtures. Minsk: “Belavtodor” Department, 2011. 27 p. (in Russian).

2. State Standard 30491–97. Organo-Mineral Mixtures and Soils Reinforced with the Help of Organic Binders for Road and Airdrome Construction. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 1998. 21 p. (in Russian).

3. SNiP [Construction Rules and Regulations] 3.06.03–85. Text Book for Preparation and Application of Bitumen Road Emulsions. Moscow, Stroyizdat, 1989. 56 p. (in Russian).

4. STB [Standards of the Republic of Belarus] 2036–2010. Asphalt-Concrete Cast Cold Mixes for Protective Layers. Technical Specifications. Minsk, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2010. 20 p. (in Russian).

5. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1112–98. Additives for Concrete. General Technical Specifications. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 1999. 23 p. (in Russian).

6. Kostova, N. Z., Plotnikova, I. A., & Rvachiova, E. M. (1977) To the Problem on Interaction Mechanism of Cation

Bitumen Emulsions with Mineral Materials. *Proceedings of SoyuzdorNII* [Road Scientific-Research Institute]. Moscow, Publishing House of SoyuzdorNII, 100, 93–107 (in Russian).

7. Cyna, M., & Ossola, M.-F. (2008) *Bitumen Emulsion*. Paris, RGRA, USIRF, 225–226.

8. Eckmann, E., Potti, J. J., Bourrel, M., Verlhac, P., Such, C., Leal Calderon, F., & Sanchez Polo, J. (2001) Cold Mix Technology: The Contribution from the Optel Project. *Revue Générale des Routes et des Aerodromes*, 792, 6–15.

9. Vavilov, P. V., Kravchenko, S. E., & Radkov, N. V. (2012) *Emulsion-Mineral Mixes. Methods for Selection of Composition and Tests. Technical Specifications and Properties. Survey Information*. Minsk, BeldorNII, 4–10 (in Russian).

10. State Standard 30459–96. Additives for Concrete. Methods for Efficiency Determination. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 1997. 40 p. (in Russian).

11. State-Run Enterprise “BeldorNII”. (2009) Investigations, Improvement of Compositions, Technology and Application for Emulsion-Mineral Mixes with Accelerated Formation Period. Report on Research Work (final). No ГР 20071425. Archive No 1113 (in Russian, Unpublished).

12. State-Run Enterprise “BeldorNII”. (2010) Investigations of Properties and Technology Development for Obtaining and Application of Structured Emulsion-Mineral Mixes with the Help of Fibre Additives. Report on Research Work (final). No ГР 20090803. Archive No 1163 (in Russian, Unpublished).

13. Eckmann, B., Le Bec, S., Lesueur, D., Le Roux, C., & Brion, Yv. (2002) Characterization of Cold Mixes with Regard to Workability and Cohesion Build-up. *Revue Générale des Routes et des Aerodromes*, 802.

14. DMD 02191.2.042–2010. Recommendations on Improvement of Fatigue Life for Asphalt-Concrete Pavements of Automobile Roads. Minsk, “Belavtodor” Department, 2010. 23 p. (in Russian).

15. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1115–2004. Asphalt-Concrete Road, Airdrome Mixes and Asphalt-Concrete. Test Methods. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2005. 36 p. (in Russian).

16. STB [Standards of the Republic of Belarus] 1242–2000. Dynamic Density Analyzer. Technical Specifications. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2001. 8 p. (in Russian).

17. State Standard 22733–2002. Soils. Method for Laboratory Determination of Maximum Density. Minsk, Ministry of Architecture and Construction, 2006. 12 p. (in Russian).

18. DMD 02191.2.044–2011. Recommendations on Determination of Dynamic Elasticity Module for Asphalt-Concrete while Using Method of Non-Destructive Dynamic Impulse. Minsk, “Belavtodor” Department, 2011. 10 p. (in Russian).

19. Vavilov, P. V., & Kravchenko, S. E. (2011) Road Concrete Prepared with the Help of Emulsion-Mineral Mixes with Modified Additives. Assessment and Prediction of their Formation Period. *Avtomobilnye Dorogi i Mosty* [Automobile Roads and Bridges], 2 (8), 58–68 (in Russian).

Received 08.07.2014