

УДК 625.855.063

КЛАССИФИКАЦИЯ И КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДОБАВОК В ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЯХ

П.В. ВАВИЛОВ

(Государственное предприятие «БелдорНИИ», Минск);

канд. техн. наук, доц. С.Е. КРАВЧЕНКО

(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Рассматриваются вопросы применения добавок в эмульсионно-минеральные смеси для устройства конструктивных слоев дорожных одежд. Предлагается классификация добавок в эмульсионно-минеральные смеси по их функциональному назначению (основное назначение действия добавки) на добавки, повышающие прочность, водостойкость, долговечность, ускоряющие формирование и технологические модификаторы. В зависимости от назначения показаны критерии эффективности добавок. Для каждого из критериев предлагаются методики определения одного или нескольких качественных показателей, изменение которых указывает на эффективность добавки. В качестве примера представлен расчет эффективности тонкодисперсного наполнителя и поверхностно-активного вещества в качестве добавок в эмульсионно-минеральные смеси. Предложенная классификация добавок и критерии послужат основанием для целенаправленного регулирования составов и свойств эмульсионно-минеральных смесей для устройства конструктивных слоев дорожных одежд.

Введение. В последние 15 лет в Республике Беларусь ситуация с использованием эмульсионно-минеральных смесей для устройства конструктивных слоев дорожных одежд (далее – смеси) существенно изменилась в лучшую сторону. В распоряжении дорожных организаций имеются отечественные установки по производству битумных эмульсий, мобильное смесительное оборудование белорусского производства, широко представлена номенклатура высококачественных поверхностно-активных веществ (ПАВ) для производства эмульсий и регулирования свойств смесей. Вместе с тем, сравнивая требования технических нормативных правовых актов (ТНПА), очевидно, что современные требования к смесям мало изменились, а по некоторым показателям даже снизились в сравнении с требованиями 30-летней давности (табл. 1). Кроме того, в ТНПА существуют определенные терминологические разногласия, не регламентирован порядок применения добавок в смеси, отсутствуют методы определения их оптимального расхода и критериев эффективности.

Таблица 1

Сравнительные данные требований ТНПА к смесям

ТНПА	Классификация смеси	Предел прочности на сжатие, МПа, не менее, при 20 °С/50°С	Коэффициент водостойкости, не менее	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, не менее	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему, не более	Нормативный возраст (период формирования структуры)
Пособие к СНиП 3.06.03-85 [1]	пористые ¹	1,0/–	0,7	–	не более 6,5	2,0	14 суток
	плотные ¹	1,2/–	0,8	0,7	не более 4,5	2,5	
	с цементом ²	2,0/–	0,8	0,6	не более 7	1,5	
ГОСТ 30491-97 [2]	основание	1,4/0,5	0,6	0,5	не более 10	2,0	14 суток
	покрытие	1,6/0,8	0,75	0,65	2,0...6,0	2,0	
	с минеральными вяжущими ³	1,8/0,9	0,8	0,7	2,0...6,0	1,5	28 суток
ТКП 306-2011 ⁴ [3]	I класс	1,2/–	0,6	0,6	не более 10	2,0	Не менее 14 суток или 1 (3, 7) суток ⁵
	II класс	1,0/–	0,5	0,5	не более 12	2,0	

Примечания: 1. К гравийным смесям требования снижаются на 15 %. Возможно использование добавок цемента и извести.
 2. В количестве 4...6 % массы минерального материала.
 3. Портландцемент, шлакопортландцемент, зола-уноса – в количестве не более 4 % по массе.
 4. В качестве добавок могут использоваться волокна целлюлозы или стекловолокно и добавки для ускорения формирования.
 5. В случае получения показателей (кроме коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении), удовлетворяющих требованиям таблицы 1 через 1 (3; 7) сутки, сроком формирования конструктивного слоя из смесей, содержащих уплотняющую добавку, считаются 1 (3; 7) сутки соответственно.

Таким образом, совершенствование нормативной базы позволит рационально проектировать составы смесей, обоснованно назначать расход добавок и целенаправленно изменять состав смесей для достижения высоких физико-механических и эксплуатационных свойств устраиваемых из них конструктивных слоев дорожных одежд.

Классификация добавок. Учитывая особенности физико-химических процессов, протекающих в смесях [4; 5], и технологии их производства [6] за основу классификации добавок предлагается взять их функциональное назначение (основное назначение действия добавки), аналогично [7].

Добавки предлагается разделить на 5 классов:

- 1) повышающие прочность;
- 2) повышающие водостойкость;
- 3) ускоряющие формирование;
- 4) технологические модификаторы;
- 5) повышающие долговечность.

Критерии эффективности добавок и методы их определения. В основу оценки эффективности добавок предлагается заложить сравнение показателей смесей контрольного состава (не содержащего добавки) и основного состава (с добавкой), аналогично определению эффективности добавок в бетоны [8]. Испытания следует проводить в нормативном возрасте (14 суток) и в ранние сроки (для добавок, ускоряющих формирование) с целью подтверждения двух положений: добавка обеспечивает заявленный основной эффект; в возрасте 14 суток смесь соответствует нормативным требованиям.

На основании анализа нормативных [1–3; 7; 8] и других [5; 6] источников предлагается использовать критерии технической эффективности добавок, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Критерии эффективности добавок

Добавки	Основной эффект от воздействия	Критерии технической эффективности				
		качественный показатель смеси			критерий	
		свойство / показатель	обозначение	методика	обозначение	нормируемое значение
1. Повышающие прочность	Повышение прочности	Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С в возрасте 14 суток, МПа	$R_{см}^{осн}$, $R_{см}^к$	[1]	$\Delta R_{см}$	$\Delta R_{см} \geq 20\%$
2. Повышающие водостойкость	Повышение водостойкости	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	$K^{осн}$, $K^к$	[1]	ΔK	$\Delta K \geq 20\%$
3. Регулирующие формирование	Ускорение формирования	Скорость изменения предела прочности при сжатии, МПа/сут	$R_{см}^{осн}$, $R_{см}^к$	[1]	$\Delta a_{см}$, $\Delta b_{см}$	$\Delta a_{см} \geq 15\%$ и/или $\Delta b_{см} \geq 15\%$
4. Технологические модификаторы	Улучшение процесса перемешивания смеси / изменение срока хранения смеси	Усилие сдвига в определенных промежутки времени, МПа	$R_{сд}^{осн}$, $R_{сд}^к$	[9]	$\Delta R_{сд}$	$(R_{сд}^{осн} - R_{сд}^к) \rightarrow$ оптимальное значение
5. Повышающие долговечность	Повышение долговечности смеси	Прогнозируемая усталостная повреждаемость в возрасте 14 (28) суток, %	$D_n^{осн}$, $D_n^к$	[10]	ΔD_n	$(D_n^{осн} - D_n^к) \geq 0,5$

Аналогично [8] критерии эффективности $\Delta КП$, %, добавок № 1...3 таблицы 2 предлагается определять как

$$\Delta КП = \frac{КП^{осн}}{КП^к}, \quad (1)$$

где $КП^{осн}$, $КП^к$ – качественные показатели (показатели, изменение которых указывает на эффективность добавки) смесей основного и контрольного составов соответственно.

Качественные показатели эффективности добавок за исключением технологических модификаторов предлагается определять по стандартным (общезвестным) методикам. Таким образом, процесс определения эффективности добавок не вызовет затруднений.

Технологический модификатор перемешивания должен обеспечить снижение до приемлемого уровня сдвигового усилия, возникающего при перемешивании компонентов смеси в смесителе. Модифи-

каторы 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 *Nynas* [9]. Оно позволяет напрямую измерить усилие сдвига, возникающее при перемещении компонентов (слоев) смеси относительно друг друга в различные моменты времени.

Для добавок, ускоряющих формирование, предварительно необходимо установить временную функцию изменения предела прочности при сжатии основного (2) и контрольного (3) составов вида:

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

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

где $a_{сж}^{осн}$ – коэффициент, характеризующий скорость изменения предела прочности при сжатии образцов основного и контрольного составов, МПа/сут; $a_{сж}^k$ – свободный член функции предела прочности при сжатии, характеризующий начальную прочность при сжатии образцов основного и контрольного составов, МПа; T – возраст образцов из смесей, сут.

При установлении функций (2) и (3) прочность при сжатии определяют в раннем (1...7 суток) и нормативном (14 суток) возрасте. Затем определяют критерий эффективности по (1). Для снижения трудоемкости процесса установления оптимального расхода добавки (необходимо изготовить 12 образцов для одного расхода добавки) предлагается использовать неразрушающий метод контроля [11]. Для этого потребуется всего три образца, а в случае параллельных испытаний на долговечность можно использовать образцы, предназначенные для определения усталостной повреждаемости [10].

Пример определения эффективности добавок в смеси. Подбор контрольного состава смеси (k) с минеральной частью из песка природного (66 %) и щебня гранитного фр. 5...10 мм (34 %) осуществлялся по [12]. На рисунке 1 представлены результаты определения оптимального содержания вяжущего в смеси контрольного состава.

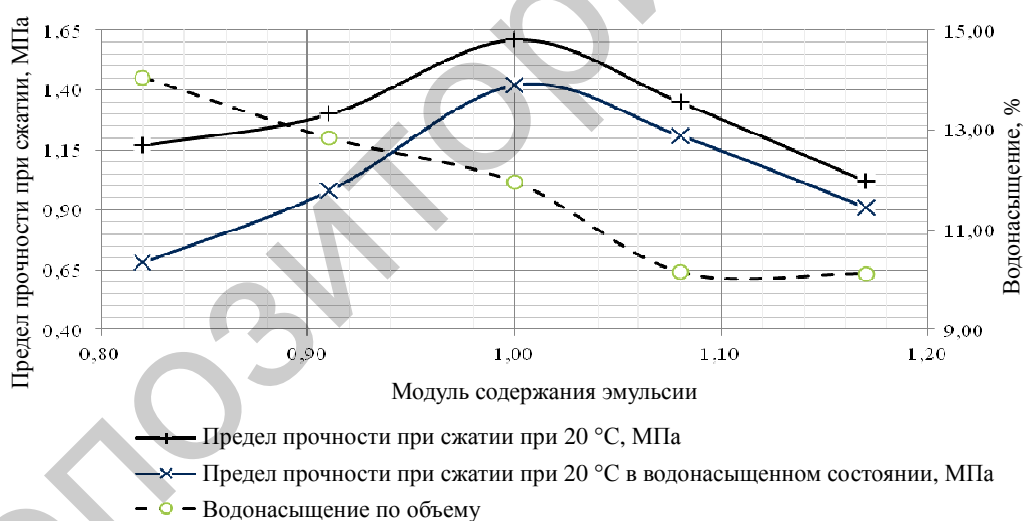


Рис. 1. Определение оптимального содержания вяжущего в смеси контрольного состава

В таблице 3 приведены составы основных составов смесей с добавками тонкодисперсного наполнителя (дефекат по [13]) и уплотняющей добавки зарубежного производства в качестве аналога [3].

Таблица 3

Описание и условное обозначение основных составов смесей

Условное обозначение состава	Добавка	Расход сверх массы минеральной части, %	Способ введения добавки
<i>st</i>	<i>Stabiram CM 502</i>	0,01	В готовую эмульсию
<i>d_2</i>	Тонкодисперсный наполнитель (дефекат)	2	На «сухую» минеральную часть перед водой предварительного увлажнения
<i>d_4</i>		4	
<i>d_6</i>		6	

Расход уплотняющей добавки принят исходя из рекомендаций производителя и ранее выполненных исследований [14]. Предварительных данных о расходе тонкодисперсного материала (дефеката) нет, поэтому граничные значения были приняты из следующих соображений. При соотношении битум/порошок более 0,8 (6 % сверх массы минеральной части) тонкодисперсный материал следует рассматривать в качестве структурной составляющей асфальто вяжущего [15], а не в качестве добавки. С технологической точки зрения – возможности введения в смесь и обеспечения равномерного распределения в ее объеме – минимальное рациональное количество тонкодисперсного наполнителя составляет 2 %.

В таблице 4 представлены результаты определения физико-механических свойств смесей в нормативном возрасте (14 суток).

Таблица 4

Физико-механические свойства образцов из смесей в нормативном возрасте (14 суток)

Состав	Физико-механические свойства			
	средняя плотность, г/см ³	водонасыщение, % по объему	набухание, % по объему	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении
<i>k</i>	2,22	11,95	0,14	0,70
<i>st</i>	2,23	11,77	0,10	0,73
<i>d_2</i>	2,23	11,41	-0,16	0,84
<i>d_4</i>	2,27	9,72	0,00	0,88
<i>d_6</i>	2,27	8,81	-0,08	0,78
Требования ТКП 306 для ЭМС II класса [3]	–	Не более 12	Не более 2,0	Не менее 0,5

На рисунках 2 и 3 отображены данные о пределе прочности при сжатии при температуре 20 °С и динамическом модуле упругости (ИПМ) образцов из смесей в различном возрасте.

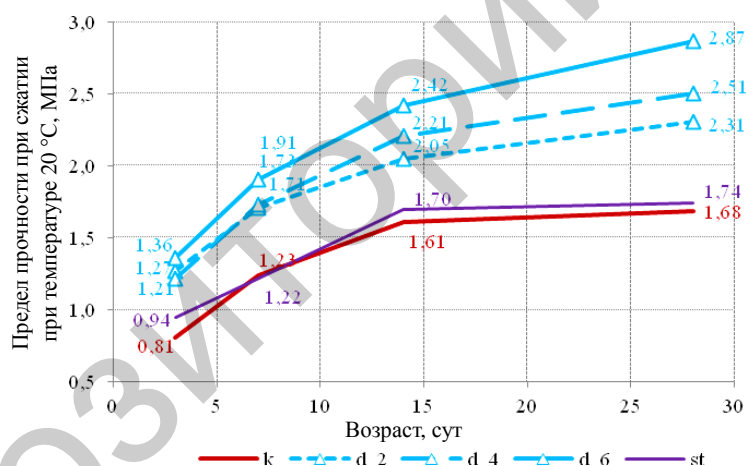


Рис. 2. Динамический модуль упругости (ИПМ) образцов смесей в различном возрасте

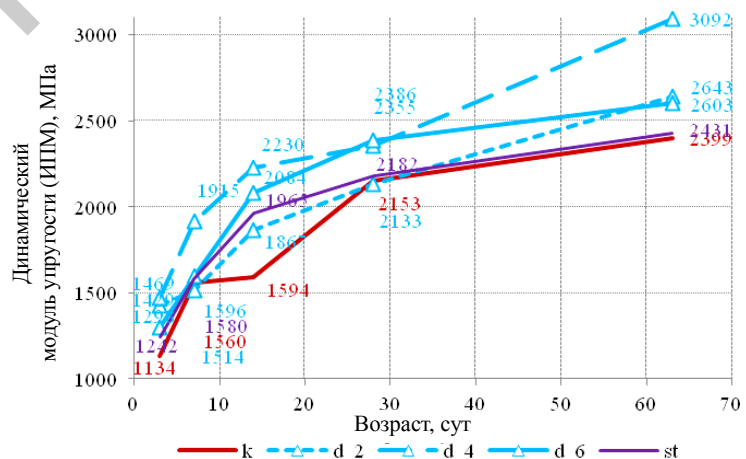


Рис. 3. Предел прочности при сжатии при 20 °С образцов из смесей в различном возрасте

В таблице 5 приведены результаты определения эффективности добавок в качестве повышающих прочность и водостойкость; в таблице 6 – в качестве добавок, ускоряющих формирование смесей, согласно предложенным методикам.

Таблица 5

Критерии эффективности добавок в смеси согласно таблице 2

Состав	Повышение прочности, %	Повышение водостойкости, %
<i>st</i>	6	4
<i>d_2</i>	28	20
<i>d_4</i>	37	26
<i>d_6</i>	51	11

Таблица 6

Данные расчета эффективности добавок в качестве ускоряющих формирование смеси

Состав	Параметры функции вида $R = a \cdot \ln(T) + b$		Критерии функциональной эффективности	
	<i>a</i>	<i>b</i>	$\Delta a, \%$	$\Delta b, \%$
по пределу прочности при сжатии (рис. 2)				
<i>k</i>	0,4075	0,414	–	–
<i>st</i>	0,3901	0,5208	–4	26
<i>d_2</i>	0,419	0,6006	3	45
<i>d_4</i>	0,5924	0,4397	45	6
<i>d_6</i>	0,4693	0,7772	15	88
по динамическому модулю (рис. 3)				
<i>k</i>	417,5856	669,0049	–	–
<i>st</i>	398,2989	831,7635	–5	24
<i>d_2</i>	406,1507	848,2993	–3	27
<i>d_4</i>	495,5682	907,9717	19	36
<i>d_6</i>	453,138	800,8388	9	20

По представленным результатам испытаний можно сделать следующие *основные выводы*:

- смеси всех составов соответствуют требованиям ТНПА в нормативном возрасте, то есть первое положение предложенной методики выполняется;

- зарубежная добавка для ускорения формирования [3] может быть классифицирована как ускоряющая формирование с расходом 0,01 % сверх массы минеральной части, что подтверждает ранее полученные данные [14];

- оптимальный расход (то есть минимальный расход, обеспечивающий достижение нормируемого уровня критерия эффективности) тонкодисперсного наполнителя с точки зрения обеспечения эффекта ускорения формирования структуры смеси, повышения ее прочности и водостойкости – 2 % сверх массы минеральной части.

Заключение. Конечной мерой эффективности добавки в любом случае является экономическая целесообразность их применения с тем или иным расходом. Для этой цели можно использовать, например, методику [16], когда сравнение затрат по различным вариантам смеси проводится на основе расчетного срока службы слоя дорожной конструкции.

В технологии производства и применения эмульсионно-минеральных смесей для устройства конструктивных слоев дорожных одежд есть ряд нерегламентированных надлежащим образом вопросов, которые сдерживают развитие данной технологии. Одним из первых шагов на пути совершенствования дорожно-строительных материалов данного типа является развитие нормативной базы в части применения в их составе добавок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий (к СНиП 3.06.03-85). – Введ. 01.03.1998. – М.: Стройиздат, 1989.
2. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства: ГОСТ 30491-97. – Введ. 01.03.1998. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 1998.

3. Автомобильные дороги. Правила устройства покрытий и оснований из эмульсионно-минеральных смесей: ТКП 306(02191)-2011. – Введ. 01.06.2001. – Минск: Департамент «Белавтодор», 2011.
4. Костова, Н.З. К вопросу о механизме взаимодействия катионных битумных эмульсий с минеральными материалами / Н.З. Костова, И.А. Плотникова, Э.М. Рвачева // Труды СоюздорНИИ. – М.: СоюздорНИИ, 1977. – Вып. № 100. – С. 93–107.
5. Bitumen Emulsion / under the coordination M. Cyna, M.-F. Ossola // RGRA, USIRF, Routes de France, SFERB. – Paris. – 2008. – С. 225–226.
6. 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. Радьков; Гос. предприятие «БелдорНИИ». – Минск, 2012. – С. 4–10.
7. Добавки для бетонов. Общие технические условия: СТБ 1112-98. – Введ. 01.01.99. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 1999.
8. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности: ГОСТ 30459-96. – Введ. 01.07.98. – Минск: М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 1997.
9. Eckmann, B. Characterisation of cold mixes with regard to workability and cohesion build-up / B. Eckmann, S. Le Vec, D. Lesueur, C. Le Roux, Yv. Brion // RGRA. – 2002. – January, № 802.
10. Рекомендации по повышению усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: ДМД 02191.2.042-2010. – Введ. 01.02.2011. – Минск: Департамент «Белавтодор», 2010.
11. Рекомендации по определению динамического модуля упругости асфальтобетона методом неразрушающего динамического импульса: ДМД 02191.2.044-2011. – Введ. 01.03.2011. – Минск: Департамент «Белавтодор», 2011.
12. Кравченко, С.Е. К вопросу о методике подбора состава эмульсионно-минеральных смесей, оценки свойств и прогнозирования сроков формирования дорожного бетона на их основе / С.Е. Кравченко, П.В. Вавилов // Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостов и подземных сооружений: материалы междунар. науч.-практ. конф., посв. 90-летию Белорусского нац. техн. ун-та, Минск, 21–22 окт. 2010 г. – Минск: БНТУ, 2010. – С. 76–84.
13. Осадок фильтрационный: ТУ РБ 37602662.630-99. – Введ. 20.08.1999. – Минск: РУП «НПЦ НАН по продовольствию», 1999.
14. Исследование, совершенствование составов, технологии получения и применения эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным сроком формирования: отчет о НИР (заключ.) / Гос. предприятие «БелдорНИИ». – Минск, 2009. – 92 с. – № ГР 20071425. – Арх. № 1113.
15. Прочность и долговечность асфальтобетона / под ред. Б.И. Ладыгина и И.К. Яцевича. – Минск: Наука и техника, 1972. – 286 с.
16. Рекомендации по подбору составов асфальтобетонных смесей по асфальтовяжущему: ДМД 02191.2.051-2012. – Введ. 01.03.2012. – Минск: Департамент «Белавтодор», 2012.

Поступила 05.06.2015

CLASSIFICATION AND EFFICIENCY CRITERIA OF ADDITIVES APPLICATION FOR COLD ASPHALT EMULSION MIXES

P. VAVILAU, S. KRAVCHENKO

The article considers the additives use for cold asphalt emulsion mixes (CAEM). The main part of the article proposes and justifies the classification of CAEM additives according to their functional purpose (the main purpose of additive): increasing of strength, water resistance, durability, accelerating curing and technological modifiers. Depending on the purpose the criteria of technical efficiency of additive using are presented. For each criteria provided the methods determining one or more quality indicators. The quality indicator changing is indicator of additive efficiency. There is provided the formula determining the efficiency of CAEM curing period reduction additives. As an example provided efficiency calculation and evaluation of some additives for CAEM. The conclusion states that proposed classification and criteria give base to purposive regulation of cold asphalt emulsion mixture compositions and their properties.