

УДК 625.775.4.038.2:625.855

НОВЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ ПОДБОРЕ СОСТАВОВ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ ИЗ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

*NEW APPROACHES TO SELECTING
COMPOSITIONS OF ROAD CONCRETES MADE
OF EMULSION-MINERAL MIXES*

Данная статья представляет собой краткое описание предлагаемого авторами метода подбора состава эмульсионно-минеральных смесей и испытаний дорожных бетонов на их основе. Предложены новые подходы к подбору состава эмульсионно-минеральных смесей, учитывающие зерновой и минералогический состав минеральной части, влияние жидкой фазы смеси на способность к уплотнению, а также особенности формирования таких материалов. Также приведены некоторые существующие в западных странах методы подбора состава и испытаний дорожных бетонов из эмульсионно-минеральных смесей.

This article is a brief description of the technique proposed by the authors in selecting composition of emulsion-mineral mixes and testing road concretes made on their basis. New approaches to selection of emulsion-mineral mixes composition making allowance for granular and mineralogical composition of the mineral component, impact of mix liquid phase on their compatibility, as well as specifics of these materials' formation are proposed. Also some techniques of road mixture selection and testing for concrete made of emulsion-mineral mixes that are currently used in Western countries are described in the article.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени в Республике Беларусь не существует нормативного документа, определяющего процедуру подбора состава эмульсионно-минеральных смесей (далее – ЭМС) для устройства конструктивных слоев дорожных одежд, как не существует и законченного метода испытаний ЭМС, учитывающего специфику материалов данного типа. Имеющиеся в распоря-

П.В. Вавилов,

инженер республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», г. Минск, Беларусь

С.Е. Кравченко,

кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь

жении специалистов-дорожников методы [1, 2, 3] устарели, не соответствуют современному уровню знаний и не позволяют провести качественный анализ состава и свойств ЭМС.

С одной стороны, такое положение вещей объясняется сформировавшимся скептическим отношением к ЭМС как к «второсортному» материалу, годному для применения на объектах второстепенного значения, вследствие чего не было и острой необходимости в разработке методик проектирования состава и испытаний. С другой стороны, эмульсионно-минеральные смеси (в данной статье рассматриваются только ЭМС на катионных битумных эмульсиях) и дорожный бетон на их основе обладают рядом специфических особенностей, учет и понимание которых в настоящий момент все еще остается актуальной технической задачей.

К этим особенностям относятся:

- присутствие воды на всех фазах существования ЭМС;
- ионная среда ЭМС;
- физическое и химическое взаимодействие между битумной эмульсией и минеральными материалами;
- в начальной фазе существования ЭМС вяжущее вещество находится в форме соединенных шариков;
- эволюционная природа дорожного бетона из ЭМС.

БЛОК-СХЕМА МЕТОДИКИ ПОДБОРА СОСТАВА ЭМС

Блок-схема методики подбора состава ЭМС представлена на рисунке 1. Она разработана на основе результатов собственных исследований и анализа ряда методик, разработанных в США и



Рисунок 1 - Блок-схема предлагаемой методики подбора состава ЭМС и испытаний дорожного бетона из нее

Западной Европе. В соответствии с приведенной блок-схемой можно выделить четыре основные фазы: предварительная фаза, подготовительная фаза, фаза определения физико-механических характеристик и фаза специальных исследований.

Представленная блок-схема позволяет осуществить выбор такой пропорции компонентов ЭМС, которая при оптимальном соотношении затрат и достигаемых при этом свойствах дорожного бетона на основе ЭМС позволяет получить материал, соответствующий его назначению. При этом исходными данными для выполнения подбора состава являются: область применения дорожного бетона из ЭМС, технологическая схема приготовления, типы крупного и мелкого заполнителей, битумная эмульсия.

Следует отметить и тот факт, что подбор рецептур битумных эмульсий вынесен за пределы предлагаемого метода, поскольку данная техническая задача представляет собой проблему, заслуживающую отдельного рассмотрения. Обычно следует рассматривать несколько рецептур эмульсий (например, с различным типом и (или) количеством эмульгатора, с различным типом и (или) количеством разжижителя).

Предложенные в данной статье методы используются для ЭМС, изготавливаемых по комплексной технологической схеме, но, в целом, они будут применимы и к ЭМС, изготавливаемым по отдельной и последовательной технологическим схемам.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ФАЗА

На предварительном этапе подбора состава ЭМС предлагается провести отбор и оценку свойств минеральных материалов и вяжущего. Пропорции минеральных материалов необходимо выбирать исходя из планируемой области применения.

На наш взгляд, существующих требований к составам минеральной части ЭМС [1, 2, 3, 4] недостаточно и требуется их уточнение. Требования к составам минеральной части ЭМС в США [5] и Франции [6] в целом близки к требованиям для плотных асфальтобетонных смесей [7]. Рекомендуемые авторами зерновые составы, приведенные в таблице 1, основаны на анализе применяемых в Республике Беларусь составов ЭМС и требований к минеральной части дорожных бетонов [3, 6, 7, 8, 9].

Для подбора соотношения компонентов минеральной части и расчета зернового состава предлагается использовать стандартные методики [10] или [11].

От зернового состава минеральной части зависит количество требуемого вяжущего в смеси. Так, первоначальное количество битумной эмульсии в [12] предлагается назначать в зависимости от содержания определенных фракций минеральной

части либо при испытании на определение эквивалента керосина при центрифугировании (The Centrifuge Kerosene Equivalent test), либо по формуле

$$P = 0,7 \cdot (0,05 \cdot A + 0,1 \cdot B + 0,5 \cdot C), \quad (1)$$

где P – количество битумной эмульсии сверх минеральной части, % по массе;

A – количество частиц, оставшихся на сите на 2,36 мм, % по массе;

B – количество частиц, прошедших через сито 2,36 мм и оставшихся на сите 0,075 мм, % по массе;

C – количество частиц, прошедших через сито 0,075 мм, % по массе.

В работе [13] для определения минимального количества битумной эмульсии предлагается использовать следующий принцип (исходя из гипотезы, что компактного монослоя капелек битума, осевших на поверхности минерального материала, будет достаточно, чтобы получить качественное покрытие): площадь поверхности частиц минеральной части и площадь поверхности частиц эмульсии (шариков битума) должны быть равны друг другу. Этот принцип заслуживает внимания с исследовательской точки зрения, но не подходит

Таблица 1 – Зерновые составы минеральной части дорожных бетонов из ЭМС

Сито, мм	Тип I 0/40		Тип II 0/40		Тип I 0/20		Тип II 0/20		0/15		0/10	
	40	95	100	97	100							
25	80	100	74	86								
20	70	100	67	82	95	100	75	100				
15	57	100	56	74	85	100	60	80	95	100		
10	45	76	45	65	70	92	45	65	78	100	95	100
5	27	65	28	50	49	75	28	50	54	90	64	95
2,5	18	50	19	38	33	58	19	38	37	67	42	78
1,25	10	38	13	27	21	49	13	27	25	46	28	50
0,63	7	28	8	20	14	38	8	20	16	34	19	34
0,31	4	22	5	14	10	30	5	14	9	23	11	23
0,14	3	15	2	8	8	21	2	8	4	15	5	15
0,071	2	8	0	4	4	13	0	4	3	11	2	11

для практических целей, поскольку требует сложного и дорогостоящего оборудования. К тому же и сами авторы этого метода не считают полученный результат окончательным и рекомендуют провести ряд дополнительных испытаний при больших значениях с целью оптимизации свойств ЭМС.

Для определения первоначального количества битумной эмульсии авторы предлагают использовать понятие, аналогичное понятию «модуль содержания битума в смеси» [10], - модуль содержания эмульсии в ЭМС. То есть первоначальное количество битумной эмульсии в ЭМС можно определить по формуле

$$C_{\text{э}} = k_{\text{в}} \cdot M_{\text{сэ}} \cdot \sqrt[5]{S_{\text{мч}}} , \quad (2)$$

где $C_{\text{э}}$ – содержание эмульсии, % сверх массы минеральной части;

$k_{\text{в}}$ – поправочный коэффициент для приведения к эмульсии с содержанием остаточного вяжущего 60 %, который вычисляется как

$$k_{\text{в}} = \frac{W_{\phi}}{60} , \quad (3)$$

где W_{ϕ} – фактическое содержание остаточного вяжущего в эмульсии, % по массе;

$M_{\text{сэ}}$ – модуль содержания эмульсии (с содержанием остаточного вяжущего 60 %);

$S_{\text{мч}}$ – общая поверхность минеральной части ЭМС (согласно [10]).

При этом модуль содержания эмульсии следует принимать равным:

- $M_{\text{сэ}} = 1,00 \div 1,15$ для ЭМС с минеральной частью, в которой по площади поверхности преобладают гранитные материалы;

- $M_{\text{сэ}} = 0,85 \div 1,00$ для ЭМС с минеральной частью, в которой по площади поверхности преобладают кварцевые материалы.

На этом же этапе подбора состава ЭМС следует не только проверить выбранные исходные материалы на совместимость (путем простого смешивания), но и параллельно определить приблизительное начальное количество воды, необходимой для качественного перемешивания, под которым следует понимать однородность распределения вяжущего в пределах минеральной части и его удовлетворительную адгезию.

Адгезия вяжущего к минеральному материалу является важным показателем качества ЭМС, поскольку в значительной степени влияет на конечные свойства дорожного бетона из ЭМС.

Для определения степени адгезии наряду с визуальной оценкой [12] существует метод [14] относительной оценки на основе анализа цифрового изображения изготовленной смеси с контрольными образцами (не обработанная вяжущим минеральная часть испытываемой ЭМС – значение «ноль» и полностью покрытая вяжущим минеральная часть – значение «сто»). При этом также предлагается определять раннюю когезию (устойчивость к поверхностному истиранию подобно испытанию на абразивный износ холодных литых асфальтобетонных смесей) и адгезию на различных технологических стадиях: на стадии хранения в штабеле, при погрузочно-разгрузочных работах, укладке и воздействии распределяющего оборудования, уплотнения. В работах [13, 14] показано, что степень адгезии от момента приготовления смеси до момента окончания уплотнения может уменьшаться на 20 %, что зависит от количества воды, состава эмульсии и типа минеральной части. На наш взгляд, описанные в вышеназванных работах методы испытаний представляют интерес скорее с исследовательской точки зрения и будут полезны для выработки общих рекомендаций по производству и применению ЭМС.

Таким образом, авторы считают необходимым и достаточным для практических целей подбора состава и предварительной оценки пригодности типа вяжущего визуальный метод оценки степени адгезии по площади поверхности минеральной части, покрытой вяжущим. А именно: подобранную минеральную часть навеской (250-300 г) смешивают с постепенно увеличивающимся количеством воды (начальное количество – 1 % сверх массы) и постоянным (определенным по формуле (2)) количеством эмульсии, навеска высушивается и визуально оценивается по шкале от 0 % (полное отсутствие покрытия) до 100 % (полное покрытие). Количество воды и степень адгезии фиксируются. Вяжущее с неудовлетворительной адгезией (менее 50 % для слоев оснований и 75 % для слоев покрытий) бракуется.

Таким образом, по завершении данного этапа работ будут установлены:

- минеральные компоненты и их соотношение (состав минеральной части ЭМС);
- вяжущее и его начальное количество;
- первоначальное количество воды и соответствующая степень адгезии.

ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ФАЗА

Испытание на уплотняемость (степень уплотнения) предназначено для определения оптималь-

ного содержания жидкой фазы ЭМС, т.е. общего количества эмульсии и воды, поскольку обе эти фазы влияют на способность ЭМС к уплотнению и на конечную плотность дорожного бетона из ЭМС.

Вода играет особую роль в эмульсионно-минеральных смесях. Во-первых, она необходима для приготовления битумной эмульсии и снижения вязкости вяжущего. Во-вторых, вода играет роль «смазки» при приготовлении смеси и ее уплотнении. При этом именно наличие воды в уплотненном слое (дорожном бетоне из ЭМС) препятствует формированию пленки вяжущего и увеличивает вероятность разрушения на раннем этапе. В-третьих, вода способствует ионизации среды эмульсионно-минеральной смеси, позволяя происходить коалесценции и распаду эмульсии, и способствует химическому взаимодействию между минеральными материалами и битумной эмульсией. Химические взаимодействия влияют на качество покрытия поверхности минеральных материалов битумной эмульсией. Таким образом, вода не просто присутствует на всех этапах существования эмульсионно-минеральной смеси и дорожного бетона из нее, но и принимает активное участие во всех происходящих процессах, поэтому и необходимо оптимизировать ее количество в ЭМС.

В работах [5, 15, 16] для целей оптимизации содержания воды предлагается использовать гиратор либо комбинированное уплотнение (ударное + статическое).

Авторы предлагают два метода определения содержания жидкой фазы (воды) в ЭМС.

Первый метод заключается в использовании методики, аналогичной [17]. Так, на рисунке 2 показана зависимость плотности ЭМС от количества жидкой фазы (вода + битумная эмульсия), полученная по методике, аналогичной [17], со следующими изменениями и дополнениями: смесь минеральных материалов массой 500 г определенного по формуле (2) ранее количества эмульсии и увеличивающегося количества воды подвергается ударному уплотнению, с последующим измерением геометрических размеров полученного цилиндрического образца и его массы для вычисления плотности либо определения плотности гидростатическим взвешиванием.

Эта методика позволяет обнаружить два «пика» плотности ЭМС, соответствующие «зернистой» и «литой» консистенции, но она является достаточно трудоемкой.

Второй предлагаемый метод практич-

нее, поскольку основан на стандартной методике, применяемой для регенируемых смесей [18], и его результаты могут использоваться при последующих подборках. Так, для определения количества дополнительно вводимой воды, необходимой для достижения оптимальной плотности регенируемого материала, используют следующую формулу [18]

$$W = W_{opt} - W_{est} - k \cdot P_{em} \quad (4)$$

где W – количество воды, %;

W_{opt} – оптимальная влажность заполнителя регенируемого материала (по [17]), %;

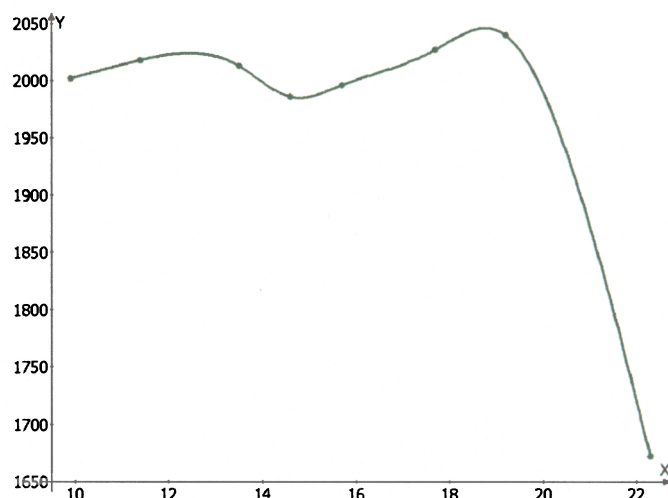
W_{est} – естественная влажность заполнителя;

P_{em} – количество добавляемой битумной эмульсии;

k – коэффициент, равный 0,7 для регенируемого материала.

Проведенные исследования позволили установить, что значение коэффициента k для материала, состоящего из необработанных минеральных материалов и битумной эмульсии на чистом битуме БНД 90/130, составляет 0,9.

Далее необходимо разъяснить вопрос, непосредственно связанный с плотностью ЭМС, а именно: определить лабораторный режим уплотнения образцов ЭМС, для того чтобы получить характеристики, сопоставимые с наблюдаемыми в натуральных условиях.



Ось X – количество жидкой фазы (эмульсия + вода).
Ось Y – плотность образца ЭМС, кг/м³

Рисунок 2 – Зависимость плотности ЭМС от содержания жидкой фазы

Так, для холодных смесей в США [12] принято два метода: ударный метод уплотнения, по Маршаллу (Marshall), для подбора ЭМС, применяемых в слоях оснований, и смешанный, по Хвиму, – для ЭМС, применяемых в слоях оснований и покрытий. Ударный метод представляет собой: 50 ударов груза массой 4,5 кг по направляющей штанге (подошва – Ø98,4 мм) с высоты 457 мм с двух торцов смеси заполняющей формовочное кольцо Ø101,6 мм. Смешанный – 10-50 трамбующих ударов на прессе (давление 1,7 МПа) и статическое уплотнение смеси в форме Ø101,6 мм под нагрузкой 178 кН в течение 1 минуты.

В Западной Европе до недавнего времени для формования образцов был принят метод Дюрвез – нагрузка 60 кН в течение 5 минут на образец смеси с минеральной частью $D < 14$ мм (форма Ø80 мм) и 120 кН – для $D > 14$ мм (Ø120 мм). В работах [15, 19, 20] указывается на тот факт, что на строительной площадке начальная остаточная пористость дорожного бетона из ЭМС составляет порядка 11 %-22 %. В настоящее время ведутся работы по определению режима уплотнения на гираторе, а после проведения исследований [5, 15, 16, 19] принято решение снизить усилие формования до 20 кН для смесей с минеральной частью $D < 14$ мм и 40 кН – для $D > 14$ мм для достижения вышеназванной остаточной пористости лабораторных образцов.

В ранее действующих в Беларуси нормативных документах рекомендовался следующий режим уплотнения – 30 МПа в течение 3 мин [3]. Исследовательские работы, проведенные в БелдорНИИ в последнее время [8, 9], свидетельствуют о том, что принятый в настоящее время в Республике Беларусь режим формования образцов – 40 МПа в течение 3 минут позволяет достигать степени уплотнения, соответствующей остаточной пористости порядка 6 %-20 % [20, 21].

На основании вышесказанного авторы считают необходимым проведение дополнительных исследований по определению лабораторного режима уплотнения для получения корреляционных зависимостей плотности лабораторных образцов и плот-

ности дорожного бетона из ЭМС, достигаемой на строительной площадке.

В целом, изменение режима уплотнения может оказаться полезным для понимания некоторых характеристик дорожного бетона из ЭМС процессов формирования его структуры, достигаемых физико-механических характеристик, а также для прогнозирования сроков формирования. Так, на рисунке 3 представлена диаграмма, отражающая изменение влажности образцов ЭМС (полученной на промышленном оборудовании), в зависимости от режима уплотнения.

Представленные на рисунке 3 данные свидетельствуют о том, что при различных режимах уплотнения конечная влажность дорожного бетона из ЭМС стабилизируется в пределах от 0,5 % до 1 %. Это происходит на 5-6 сутки при температуре окружающей среды (20 ± 2) °С и нормальной атмосферной влажности, при этом физико-механические свойства дорожного бетона из ЭМС продолжают развиваться. Таким образом, изменение влажности нельзя принять за параметр, характеризующий процесс формирования дорожного бетона из ЭМС.

Кроме того, данные рисунка 3 указывают на тот факт, что даже при недостаточном уплотнении возможно получение из ЭМС дорожного бетона с удовлетворительными физико-механическими

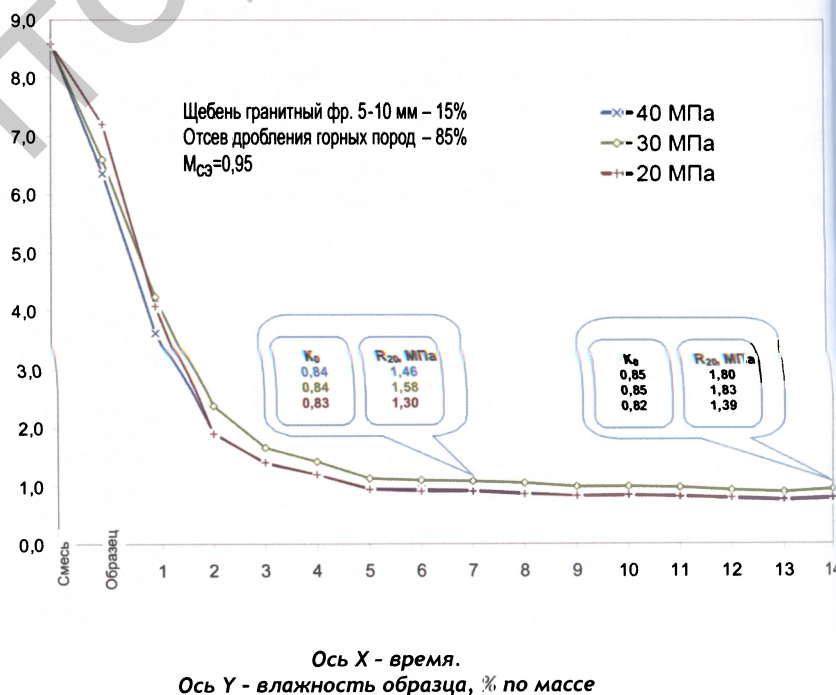


Рисунок 3 - Изменение влажности образцов дорожного бетона из ЭМС с различным режимом уплотнения во времени

свойствами, которые могут развиваться под действием благоприятных внешних факторов. Данное поведение дает преимущество перед подобными по составу горячими смесями, которые при таком же значении показателя максимальной относительной плотности K_0 в большей степени подвержены разрушению под действием внешних факторов.

Низкое начальное значение показателя максимальной относительной плотности объясняется наличием в дорожном бетоне из ЭМС большого количества пустот, образующихся в результате объединения капелек битума, не способных исчезнуть в течение процесса уплотнения.

Так, на равных площадях поверхности дорожного бетона из горячей смеси определены 332 пустоты, а из холодной смеси – 7199 пустот [15]. При этом для дорожного бетона из ЭМС характерно большее количество микроскопических пустот.

Эволюционная природа дорожного бетона из ЭМС связана с процессом формирования («созревания») эмульгированного вяжущего. То есть из диспергированного состояния в виде шариков в эмульсии битум должен перейти в пленочное состояние на поверхности минеральных материалов, образовав сплошную твердую (прочную) связующую среду. Поэтому и физико-механические свойства бетона из ЭМС развиваются по мере протекания этого процесса («зреют») до некоторого стабилизированного значения в течение срока, который принято называть «периодом формирования» («сроком созревания»).

В дорожном бетоне из ЭМС в результате комбинированного воздействия температуры и транспортной нагрузки происходит формирование структуры, сопровождающееся уменьшением количества пустот и увеличением их размера. В работе [15] показано, что после 100 000 проходов колеса при 40 °С количество пустот уменьшилось более чем в 3 раза, при этом K_0 увеличился на 0,07.

Таким образом, на наш взгляд, следовало бы считать, что формирование структуры дорожного бетона из ЭМС прекращается (стабилизируется) тогда, когда в результате комбинированного действия внешних факторов перестает изменяться структура порового пространства такого материала. К сожалению, на практике не представляется возможным определить период времени, необходимый для завершения данного процесса. Но, очевидно, возможно спрогнозировать период времени, необходимый для стабилизации свойств дорожного бетона из ЭМС, на основе анализа его физико-механических свойств, например, прочности при сжатии, водонасыщения либо других

характеристик.

Далее необходимо оценить физико-механические свойства дорожного бетона из ЭМС для выявления его оптимальной структуры и соответствующего компонентного состава.

Оценку свойств предлагается проводить по трем замесам ЭМС с различным содержанием эмульсии: предварительно определенное количество по формуле (2) СЭ и (СЭ±0,5 %). Для каждого из трех вариантов состава ЭМС необходимо подготовить образцы для оценки свойств дорожного бетона при следующих состояниях: «свежее», «созревшее», «свободное насыщение водой». Это связано с присутствием воды в самом составе ЭМС и эволюционным характером свойств дорожного бетона из ЭМС, что обязательно необходимо учитывать при разработке методик анализа свойств таких материалов. «Свежее состояние» необходимо ассоциировать с состоянием в период активного формирования структуры дорожного бетона из ЭМС; «созревшее состояние» – с состоянием в период, когда процесс формирования закончился (стабилизировался). При этом необходимо в лабораторных условиях смоделировать и спрогнозировать поведение дорожного бетона из ЭМС на этих стадиях его эксплуатации, что в настоящий момент представляет актуальную техническую задачу, решению которой уделяют внимание и в странах Западной Европы [5, 13, 15].

Под процессом «свободного насыщения водой» в данном методе предлагается понимать процесс хранения образцов из ЭМС на воздухе в лабораторных условиях при температуре (20±2) °С и естественной атмосферной влажности в течение 7 суток после формования и с последующим выдерживанием в воде при ее температуре (20±2) °С в течение еще 7 суток (хранить необходимо в месте, недоступном для попадания прямых солнечных лучей), аналогично [2].

В работах [5, 13, 15] указывается, что принятая за стандартную во многих странах методика испытаний образцов на 14-е сутки характеризует дорожный бетон из ЭМС в ранний период его эксплуатации, то есть характеризует «свежее состояние». Что очевидно, учитывая доуплотнение, происходящее под комбинированным действием внешних факторов. А значит, результаты, полученные по данной методике, будут характеризовать поведение дорожного бетона из ЭМС и его способность противостоять воздействию внешних факторов – транспорта и климата – на ранней стадии эксплуатации.

Для оценки дорожного бетона из ЭМС в «созревшем состоянии» был предложен ряд процедур [например, 5, 13, 15] для интенсификации

процессов формирования структуры дорожного бетона из ЭМС, основанных на том факте, что вяжущее в ЭМС является метастабильным материалом, состояние которого в дорожном бетоне зависит от температуры, влажностного режима и транспортной нагрузки. Направленные на изучение данной проблемы исследования [5, 13, 15] позволили установить следующий режим интенсификации формирования структуры дорожного бетона из ЭМС в лабораторных условиях: 14 дней хранения в специальной камере при температуре 35 °С и относительной влажности 20 % - что соответствует приблизительно состоянию в натуральных условиях после двух-трех лет службы в умеренном климате и при среднем уровне движения. При этом отмечается, что данный режим применим в умеренном климате, а образцы должны быть сразу уплотнены до такого состояния, которое бы соответствовало этому сроку эксплуатации, т.е. $K_0 = 0,85 \div 0,87$.

По методу Хвима [12] сформированный образец выдерживают сначала в форме в течение 72 часов, затем 4 дня при температуре (23±2,8) °С (73±5 °F) в вакуум-шкафу под давлением 10-20 мм ртутного столба. По методу Маршалла для испытания на стабильность созревание образцов проводят по следующей методике – 1 сутки при комнатной температуре выдерживают в форме, после снятия формы выдерживают в сушильном шкафу при 38 °С (100 °F) до постоянной массы.

Авторы считают необходимым проведение исследований по определению процедуры, основанной на прогревании образцов дорожного бетона из ЭМС. Это позволило бы более полно понимать и предсказывать поведение дорожных бетонов из ЭМС, а, возможно, и стало бы основой экспресс-методики испытаний. При этом необходимо исходить из следующих положений:

- температура прогревания должна быть гарантировано ниже температуры размягчения по кольцу и шару применяемого в ЭМС вяжущего с учетом процесса старения в процессе приготовления эмульсии на 3 °С-5 °С;

- температура прогревания должна быть по возможности близка к температуре, наблюдаемой в натуральных условиях;

- время прогревания должно обеспечить конечную влажность менее 1,0 %.

Таким образом, результатом данного этапа станут:

- установленное количество добавляемой воды, необходимое для достижения оптимальной плотности;

- образцы, подготовленные к определению физико-механических характеристик, соответ-

ствующих различным состояниям дорожного бетона из ЭМС.

ФАЗА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Данная фаза подбора состава и оценки свойств дорожного бетона из ЭМС основана на стандартных методиках [1, 2, 3, 21]. Тем не менее, авторы считают необходимым напомнить некоторые положения.

Образцы необходимо хранить в недоступном для попадания прямых солнечных лучей месте.

Для определения средней плотности ρ , водонасыщения W и набухания N следует придерживаться следующей последовательности операций: взвешивание на воздухе, 30 минут выдерживания в воде с последующим взвешиванием в воде и на воздухе, 30 минут насыщения водой в вакууме, 30 минут выдерживания в воде с последующим взвешиванием в воде и на воздухе.

Коэффициенты водостойкости K_B определяются как отношение предела прочности при 20 °С при сжатии сухих образцов к пределу прочности при 20 °С образцов, прошедших испытание на определение водонасыщения и набухания.

Коэффициент длительной водостойкости $K_B^{дл}$ определяется как отношение предела прочности при 20 °С образцов «свободно насыщенных водой» к пределу прочности при 20 °С при сжатии сухих образцов на 14-е сутки хранения.

Далее строят графики зависимости физико-механических свойств от содержания вяжущего. Оптимальное содержание вяжущего выбирается так, чтобы обеспечить максимальную прочность в насыщенном водой состоянии, а также с учетом минимальных значений водонасыщения и остаточной пористости.

Если не наблюдается пика на кривой прочности в насыщенном состоянии или на других кривых свойств, то оптимальное содержание эмульсии должно быть установлено, основываясь на лучших комбинациях таких свойств, как прочность в сухом и насыщенном состоянии, плотность и коэффициент длительной водостойкости.

По окончании данного этапа работ будет достигнута цель подбора состава – установлена пропорция основных компонентов ЭМС: крупной и мелкой фракции минеральной части, воды и вяжущего.

Для определения количества дополнительных компонентов ЭМС, таких, как, например, разжижитель, минеральная добавка или добавка для

ускорения формирования [11, 20], либо для определения характеристик, не указанных в спецификации, либо для иных прикладных и исследовательских целей предназначена фаза специальных испытаний.

ФАЗА СПЕЦИАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

На этой фазе подбора состава ЭМС следует проводить исследования по определению динамики формирования структуры смеси, оценке способности смеси сопротивляться образованию колеи и другие специальные испытания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая методика подбора состава дорожного бетона из эмульсионно-минеральной смеси основывается на стандартных методах, а подбор состава осуществляется на стандартном оборудовании. Учет при подборе составов зернового и минералогического составов минеральной части, влияние жидкой фазы на способность дорожного бетона из ЭМС к уплотнению, а также особенности формирования таких материалов позволят более обоснованно производить выбор компонентов ЭМС и тем самым подбирать дорожные бетоны из ЭМС с оптимальным соотношением затрат и достигаемых при этом свойств. В полном объеме применения данная методика может быть рекомендована для подбора состава ЭМС из новых материалов, а применительно к проверяемым составам или ЭМС, предназначенным для объектов второстепенного значения, некоторые ее этапы могут быть исключены.

Литература

1. *Дорожные технологии на основе катионных битумных эмульсий* [Текст]: РД 0219.1.09-99 / Комитет по автомобильным дорогам при Министерстве транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. - Минск, 1999.
2. *Смеси органо-минеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства* [Текст]: ГОСТ 30491-97 / МНТКС. - Минск, 1998.
3. *Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий* [Текст]: Пособие к СНиП 3.06.03-85. - М.: Стройиздат, 1989.
4. *Рекомендации по приготовлению и применению эмульсионно-минеральных смесей для конструктивных слоев с ускоренным сроком формирования* [Текст]: ДМД 02191.2.020-2008 / Государственное предприятие «БелдорНИИ». - Минск, 2008.
5. *Bitumen Emulsion* [Text] / under the coordination M. Cyna, M.-F. Ossola // RGRA, USIRF, Routes de France, SFERB. - Paris. - 2008. - ISBN 2-913414-49-4. - P. 236-241.
6. *Дорожные эмульсии: Энциклопедия в 3 томах / Под общей редакцией Петухова И.И.* - Т. I. - С. 174-204.
7. *Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия* [Текст]: СТБ 1033-2004 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. - Минск, 2004.
8. *Исследование, совершенствование составов, технологии получения и применения эмульсионно-минеральных смесей с ускоренным сроком формирования* [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / Государственное предприятие «БелдорНИИ»; рук. Жуковин М.Г.; исполн.: Сушкевич У.Г. [и др.]. - Минск, 2008. - 92 с. - № ГР 20071425.
9. *Исследование свойств и разработка технологии получения и применения структурированных волокнистыми добавками эмульсионно-минеральных смесей* [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / Государственное предприятие «БелдорНИИ»; рук. Жуковин М.Г.; исполн.: Мамлин Б.Е. [и др.]. - Минск, 2010. - 39 с. - № ГР 20090803.
10. *Рекомендации по подбору составов асфальтобетонных смесей* [Текст]: ДМД 02191.7.003-2007 / РУП «Белдорцентр», филиал «Институт дорожных исследований». - Минск, 2007.
11. *Смеси из неукрепленных зернистых минеральных материалов для покрытий и оснований автомобильных дорог. Методы лабораторного определения максимальной плотности и оптимального зернового состава* [Текст]: СТБ 1698-2009 / Госстандарт. - Минск, 2009.
12. *Asphalt cold mix manual* [Text] // Manual series No. 14 // Asphalt Institute. Lexington, KY, 1997.
13. *Towards a rational mix design method for cold bituminous mixes. The Optel contribution* [Text] / J.J. Potti, D. Lesueur, B. Eckmann // RGRA. - 2002. - April. - №805.
14. *Emulsion cold mixes: characterizing and controlling the quality of coating* [Text] / C. Deneuviller, J.-E. Poirier // RGRA. - 2002. - February. - №803.
15. *Emulsion cold mixes: for a new design method* [Text] / J.-P. Serfass // RGRA. - 2002. - July - August. - №808.
16. *The compactability of cold mixes* [Text] /

J.-E. Poirier, X. Carbonneau, J.-P. Henrat // RGRA. – 2002. – March. – №804.

17. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности [Текст]: ГОСТ 22733-2002 / МНТКС. - Минск, 2005.

18. Восстановление дорожных одежд улиц населенных пунктов способами холодной регенерации на месте [Текст]: ТКП 110-2007 (02030) / Минжилкомхоз. - Минск, 2007.

19. Mechanical characteristics of emulsion cold mixes / X. Carbonneau, J.-P. Henrat, F. Letaudin, J.-E. Poirier // RGRA. – 2002. – June. – №807.

20. Compacting additives in cold techniques / Barreto, G. // Plenary Lecture Theme 4-03, Proc., 3rd World Congress on Emulsions, Lyon, France, 2002.

21. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний [Текст]: СТБ 1115-2004 / Госстандарт. - Минск, 2004.