

УДК 625.775.4.038.2:625.855

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

ON STRUCTURE FORMATION
OF COLD EMULSION MIX BASED
PAVEMENT CONCRETES

В статье представлены и проанализированы результаты исследования явлений распада битумных эмульсий при контакте с минеральными материалами, коалесценции и увеличения когезии эмульсионно-минеральных смесей, а также возможные способы управления этими явлениями. Показана необходимость комплексной оценки явлений, происходящих при формировании структуры дорожного бетона из эмульсионно-минеральной смеси, и создания методов испытаний, учитывающих специфические процессы, происходящие при этом.

This article presents and analyzes the results of research of bitumen emulsion decomposition effects in contact with mineral materials, coalescence and increase in cohesion of cold emulsion mixes, as well as possible methods to control these effects. The need is shown for integrated evaluation of the effects occurring when pavement concrete structure is formed from cold emulsion mix, and for development of testing methods that account for specific processes taking place in this case.

ВВЕДЕНИЕ

Возможность воздействовать на свойства эмульсионно-минеральных смесей является важной и актуальной технической задачей. За последние годы в этой области были достигнуты значительные успехи, однако необходимо дальнейшее ее развитие для создания качественных, прочных и долговечных дорожных бетонов из эмульсионно-минеральных смесей (далее – ЭМС).

Вопросам разработки и применения технологий на основе битумных эмульсий значительное внимание уделялось в странах Западной Европы,

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

США и в бывшем СССР [1, 2, 3, 4]. Из работ, выполненных в бывшем СССР, следует отметить исследования, проведенные в Казахском филиале СоюздорНИИ под руководством Хавкина Б.М. и в СоюздорНИИ под руководством Плотниковой И.А., Казарновской Э.А. и Горельшевой Л.А. Среди белорусских ученых, внесших существенный вклад в развитие дорожных эмульсионных технологий, следует выделить Петухова И.Н., Евсикова Н.И.

В странах Западной Европы и США этими проблемами занимались в основном крупные компании: MeadWestvaco (США), SCREG, Colas, CECA, Nynas, Total (Франция), Akzo Nobel (Швеция), Wirtgen GmbH (Германия) и др., чья деятельность внесла весомый вклад в создание материалов и оборудования для технологий на основе катионных битумных эмульсий. В настоящее время их основные усилия направлены на создание общей методологии проектирования состава эмульсионно-минеральных смесей, испытательных методик и корреляцию результатов лабораторных исследований с поведением материалов в натуральных условиях [5, 6].

Первый опыт применения эмульсионно-минеральных смесей на территории Беларуси относится к 1971 году: для устройства конструктивных слоев дорожных одежд на автомобильной дороге Минск - Витебск в районе г.п. Плещеницы была применена холодная складированная катионная смесь [7]. Сдерживающим фактором для широкого применения ЭМС в тот период явились отсутствие надежной и высокопроизводительной техники и качественных эмульгаторов. Так, эмульгаторы производились в основном из отходов химической промышленности, а выпускаемые грунтосмесительные машины ДС-162 и ДС-50Б не позволяли получать смеси требуемого качества. Тем не менее, стремление к получению

более совершенных составов ЭМС на основе местных ресурсов позволило достичь значительного технического и экономического эффекта благодаря технологиям активации компонентов ЭМС [8], не получившим дальнейшего развития в силу ряда объективных причин.

В настоящее время ситуация существенно изменилась: подрядные организации оснащены надежной и высокопроизводительной техникой, качественными эмульгаторами, необходимыми техническими нормативными правовыми актами. Однако, учитывая результаты исследований, направленных на изучение ряда специфических явлений, таких как распад эмульсии, коалесценция, набор когезии, дальнейшего рассмотрения требуют вопросы влияния основных компонентов ЭМС на процессы структурообразования. Также представляется необходимым осуществление оценки и учета комплексного действия выявленных зависимостей с целью их синтеза для управления свойствами дорожных бетонов из ЭМС.

БИТУМНАЯ ЭМУЛЬСИЯ

Разрушение эмульсии в присутствии минерального материала обозначают термином «распад». Распад сопровождается увеличением когезии смеси минеральных материалов и эмульсии. В то же время наблюдается удаление водной фазы. В целом в процессе распада эмульсии при контакте с минеральными поверхностями можно выделить два этапа: адсорбция молекул поверхностно-активного вещества (далее – ПАВ) и адсорбция частиц битума.

Параллельно происходит обмен ионами между эмульсией и минеральной поверхностью: рН увеличивается из-за адсорбции части протонов водной фазы и катионов минералов [9]. Эти катионы (прежде всего, ионы кальция Ca^{2+} , магния Mg^{2+} , калия K^+ и др.) дестабилизируют эмульсию из-за увеличения ионной силы, которая может ускорить осаждение частиц битума на поверхности минералов.

Явление коалесценции заключается в разрыве тонкой пленки, которая формируется между смежными частицами, заставляя две частицы образовывать одну. Тонкая пленка, которая формируется при контакте двух капель, – метастабильное соединение, время его существования будет ключевым фактором в определении жизни всей эмульсии. Проведенные испытания [6, 10] показали, что время релаксации формы (τ_R), необходимое для получения из двух частиц битума одной единственной (минимизирующей общую поверхность) удовлетворяет условиям общей зависимо-

сти типа

$$\tau_R = \frac{\eta \cdot r}{\alpha \cdot \gamma}$$

и, таким образом, пропорционально вязкости вяжущего η , размеру частицы битума r и обратно пропорционально межфазному натяжению γ (α – константа).

Поэтому сначала формируется гель, состоящий из связанных частиц битума. После этого гель непрерывно сокращается в порядке уменьшения поверхности контакта между водой и битумом.

Учитывая вышесказанное, очевидна целесообразность применения более мягких битумов либо комбинации битумов с низкой и высокой вязкостью [11], либо битумов с разжижителем, поскольку в этом случае на первоначальном этапе сокращается время коалесценции и образования истинной пленки битума и при этом достигается улучшение адгезии. Отечественные разработки в данном направлении касались в основном ЭМС складированного типа на битумах с низкой вязкостью [12, 13]. Поскольку зарубежный опыт указывает на возможность применения на ответственных объектах смесей, содержащих в своем составе разжижитель, то, на наш взгляд, необходимо провести исследования подобных по составу ЭМС для конструктивных слоев [5].

Вышеописанные явления распада и коалесценции эмульсии зависят не только от вязкости исходного битума, но и от распределения частиц эмульсии по размерам (площади поверхности вяжущего в эмульсии), величины рН, количества остаточного эмульгатора, однородности эмульсии и других свойств эмульсии и ее составляющих.

Проведенные совместно с ИОНХ НАН исследования [14] показали, что изменение рН водной фазы с 2 до 3 увеличивает время отделения воды из эмульсионно-минеральной смеси, и при рН более 3 замедляется распад битумных эмульсий, при этом несущественно влияя на коалесценцию и набор когезии.

В течение процесса изготовления эмульсии эмульгатор содержится в водной фазе и затем распределяется на поверхности раздела «битум-вода» и в непрерывной водной фазе эмульсии. Эту последнюю часть называют свободным, неадсорбируемым или остаточным эмульгатором.

При контакте эмульсии с минеральной частью смеси на минеральных поверхностях появляется конкуренция между адсорбцией остаточного эмульгатора и битума. Эмульгатор более подвижен, чем битум, и может, в зависимости от его концентрации, вызывать инверсию заряда на ми-

неральной поверхности, вызывая электростатическое отталкивание с частицами битума, таким образом задерживая распад. На этом явлении, в частности, основан ряд технологий предварительной обработки минеральных материалов [15, 16].

Относительно распределения частиц эмульсии по размерам, исследования [17, 18] указывают, что единственными факторами, характерными для составляющих эмульсии, влияющими на распределение частиц по размерам, являются межфазное натяжение и вязкость вяжущего. В то же время на данном этапе невозможно установить четкую связь между распределением частиц по размерам и количеством свободного эмульгатора, вязкостью и стабильностью при хранении.

МИНЕРАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К основным характеристикам минеральной части, которые необходимо учитывать при подборе состава эмульсионно-минеральной смеси, относятся минералогический и гранулометрический состав (удельная площадь поверхности), содержание глинистых частиц.

Возможности выбора технологии [5] приготовления ЭМС позволяют на практике использовать минеральную часть любого гранулометрического состава, точнее сказать, позволяют подбирать такую ее структуру (плотную, пористую, высокопористую), которая бы соответствовала заявленной цели применения. Тем не менее, удельная поверхность (гранулометрический состав) остается весьма значимой характеристикой ЭМС, поскольку позволяет правильно оценить другие свойства минеральных материалов.

Наличие глинистых частиц влияет на удержание воды в объеме эмульсионно-минеральных смесей и, таким образом, на изменение когезии, и в целом на физико-механические свойства эмульсионно-минеральных смесей. К тому же глинистые частицы способствуют дестабилизации эмульсии [14].

Основным минеральным материалом, используемым в дорожном строительстве, является гранит. Проведенные ранее совместные исследования с ИОНХ НАН [14] показали, что адсорбция ПАВ, например четвертичной аммониевой соли, изменяется в ряду: доломит > гранит > кварцит. Прочность закрепления катионных ПАВ на основе солей четвертичных аммониевых оснований на поверхности гранита значительно ниже, чем эмульгаторов на основе ди- и полиаминов и по адсорбционной активности на гранитном щебне исследованные эмульгаторы образуют следую-

щий ряд: алкилдиамин > алкилполиамин > соли четвертичных аммониевых оснований, что дает возможность выбора ПАВ для регулирования скорости распада битумной эмульсии при контакте с гранитными материалами.

Работы [19, 20] также указывают на то, что поверхность гранита при контакте с катионной битумной эмульсией проявляет свойства как основных, так и кислых минеральных материалов. Так, при взаимодействии гранита с катионной битумной эмульсией ее начальное значение pH ~ 1,8-2,2 увеличивается до значений pH ~ 3,5-4,0 в основном из-за ионов кальция Ca^{2+} и магния Mg^{2+} . В то время как известняки характеризуются высокой активностью (под которой следует в данном случае понимать способность к изменению pH эмульсии), благодаря большому количеству ионов кальция Ca^{2+} при их взаимодействии с катионной битумной эмульсией, начальное значение pH ~ 1,8-2,2 эмульсии увеличивается до значений pH ~ 5,5-6,0. Кварциты относятся к материалам со слабой активностью, которые из-за малого количества ионов калия K^+ и кальция Ca^{2+} незначительно увеличивают начальное значение pH ~ 1,8-2,2 эмульсии до значений pH ~ 2,5-3,0. Также в этих работах показано, что активность минерала может зависеть от конкретных составляющих эмульсии – применяемых эмульгатора и кислоты.

Таким образом, при проектировании минеральной части требуется обоснованный подбор комбинации ПАВ/кислота, согласуя этот выбор с технологической схемой приготовления смеси и условиями укладки (дальность возки и др.). Так, например, исследования [14] показали, что при использовании ортофосфорной кислоты вместо соляной в составе битумной эмульсии можно увеличить время отделения воды при получении ЭМС, тем самым отрегулировать ее под конкретное технологическое оборудование.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Необходимость и возможность применения, тип и количество дополнительных компонентов определяются технической и экономической целесообразностью. Их влияние на процессы формирования и физико-механические свойства конструктивного слоя из ЭМС может быть существенным [21] и чаще всего их применение приводит к изменению технологии и (или) оборудования для приготовления и применения таких смесей.

К дополнительным компонентам можно отне-

сти такие материалы, как модификаторы вяжущего (адгезионные присадки, полимеры и др.), разжижители (дизельное топливо, керосин и т.п.), минеральные тонкодисперсные материалы (цемент, известь и др.), волокна (целлюлозные, синтетические и др.), стабилизаторы [8], ПАВ и т.д.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

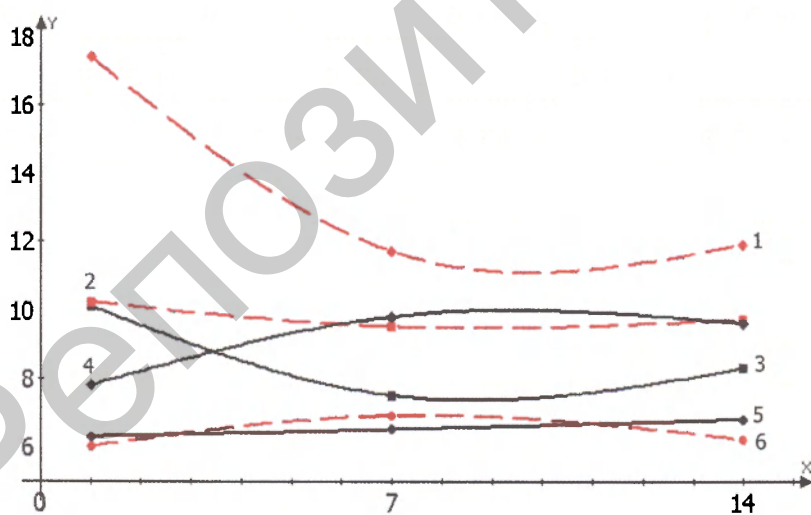
Таким образом, для рационального выбора области применения дорожного бетона из ЭМС, качественного проектирования ее состава, соблюдения технологии приготовления и укладки, все вышеописанные явления должны оцениваться комплексно, поскольку их эффекты зачастую противоположны. При этом следует учитывать, что свойства дорожного бетона из ЭМС изменяются во времени, зависят от факторов внешней среды и воды, которая присутствует во всех выше-названных процессах.

Так, на рисунке 1 показано изменение показателя водонасыщения, характеризующего процесс формирования структуры образцов из ЭМС с различными комбинациями состава минеральной части. Соотношение компонентов минеральной части ЭМС, состоящей из щебня (гранит, доломит, гравий) фр. 5-20 мм и мелкой фракции за-

полнителя (песок природный, отсев дробления гранитного щебня) составляет соответственно 1:3, содержание остаточного вяжущего сверх массы минеральной части 5% (битумная эмульсия во всех случаях имела один и тот же состав), методы изготовления и испытания согласно [16]. Из представленных данных видно, что изменение показателя водонасыщения, характеризующего пористость образцов ЭМС и способность к удержанию воды в объеме смеси, протекает либо по принципу «доуплотнения», т.е. уменьшения объема пор и снижения общего количества воды, либо «разуплотнения», т.е. увеличения порового пространства и повышенной восприимчивости к воздействию воды, либо по «комбинированному» принципу. Такое поведение определяется активностью минеральных материалов, составляющих минеральную часть при данном их соотношении. При этом смеси с минеральной частью на природном песке, обладающем невысокой активностью взаимодействия с битумной эмульсией, показывают затухание процессов формирования раньше, чем такие же ЭМС с минеральной частью на гранитном отсеве.

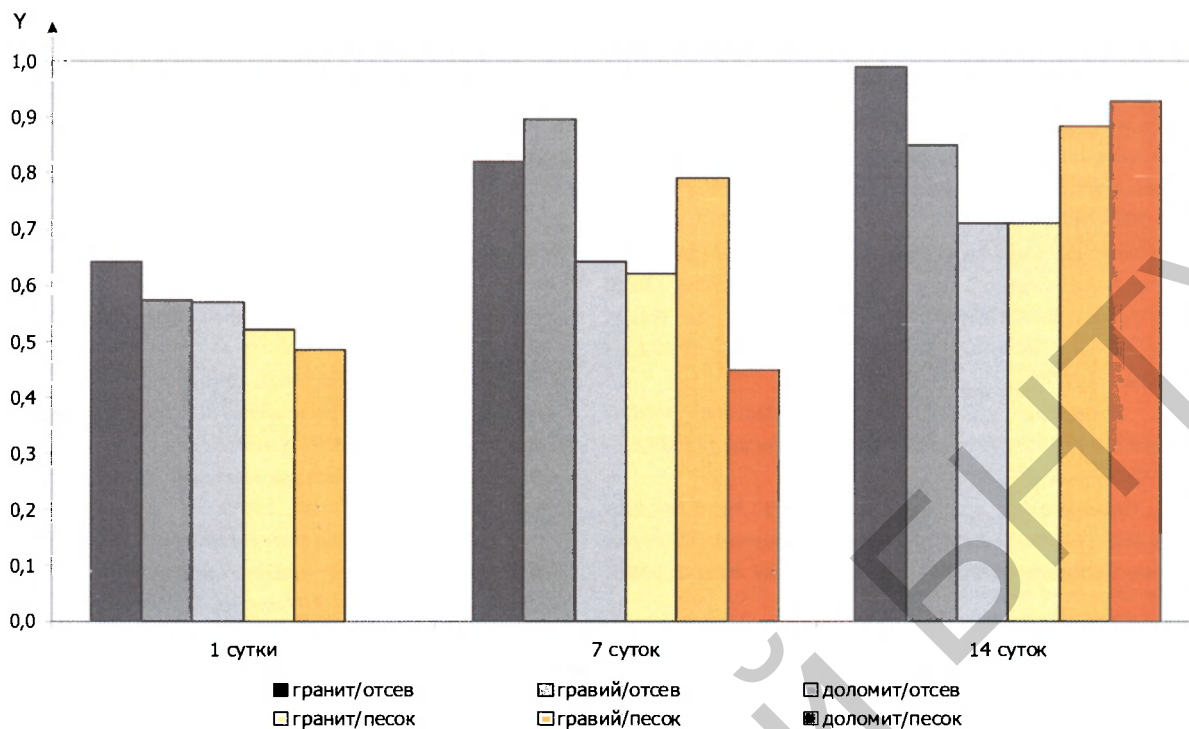
Установлено положительное воздействие на водостойкость (рис. 2) комбинации минеральной части из материалов схожей кислотности: гранитный щебень/гранитный отсев, гравий/песок природный. Это можно объяснить тем, что материалы, обладающие различной кислотностью, создают конкуренцию для адсорбции частиц битума на их поверхности. Присутствие воды в составе ЭМС способствует подвижности активных частиц вяжущего, что требует дополнительного времени для формирования истинной пленки вяжущего и поэтому снижает водостойкость образцов из ЭМС на первоначальном этапе формирования.

Тем не менее, главную роль в процессе формирования структуры дорожных бетонов из ЭМС играет мелкая фракция, поскольку она обладает наибольшей удельной поверхностью, а значит количественно и качественно определяет процессы структурообразования, протекающие на границе раздела фаз. Это положение подтверждает необходимость разделения технических требований к ЭМС [16] в зависимости от используемой мелкой фракции заполнителя.



Ось X - срок формирования, сутки
Ось Y - водонасыщение образцов из ЭМС, % по объему.
1 - доломит/песок; 2 - гравий/песок; 3 - гравий/отсев;
4 - доломит/отсев; 5 - гранит/отсев; 6 - гранит/песок

Рисунок 1 - Изменение водонасыщения образцов ЭМС в зависимости от состава минеральной части



Ось Y - коэффициент водостойкости образцов из ЭМС

Рисунок 2 - Коэффициент водостойкости образцов из ЭМС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Свойства минеральных материалов и битумной эмульсии являются главными факторами, оказывающими воздействие на процессы структурообразования эмульсионно-минеральных смесей в следующей последовательности по степени уменьшения их влияния: минералогический и гранулометрический состав минеральной части, свойства исходного битума, тип и количество поверхностно-активных веществ и кислоты. Как следствие, они влияют на эксплуатационные характеристики конструктивного слоя из этих смесей при сопутствующих факторах внешней среды.

Приведенные в данной статье результаты исследований подтверждают необходимость создания обоснованной методики оценки физико-механических свойств дорожного бетона из эмульсионно-минеральной смеси, основанной на теоретических принципах взаимодействия ее компонентов и позволяющей осуществлять корректировку технологии приготовления и применения смеси.

Литература

1. Эмульсии битумные дорожные. Технические условия [Текст]: ГОСТ 18659-81. - М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1981.
2. Инструкция по устройству покрытий и оснований из щебеночных, гравийных и песчаных материалов, обработанных органическими вяжущими. Ведомственные строительные нормы [Текст]: ВСН 123-77. - М.: Изд-во «Транспорт», 1978.
3. Автомобильные дороги [Текст]: СНиП 3.06.03-1985 / ЦИТИ Госстроя СССР. - М., 1989.
4. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий (к СНиП 3.06.03-85) [Текст]. - М.: Стройиздат, 1989.
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.
6. 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.
7. Петухов, И.Н. Битумные эмульсии в дорожной практике Республики Беларусь // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов: сбор-

ник научных докладов / РУП «БелдорНИИ». – Минск, 2001. – С. 102-107.

8. Евсиков, Н.И. Получение и применение эмульсионно-минеральных смесей на активированных компонентах // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Минск, 1988.

9. Characterisation of aggregates in relation to the breaking behaviour of emulsions in cold mixes [Text] / F. Delfosse, B. Eckmann, A. Le Roux, C. Le Roux, L. Odie, J. J. Potti, J. S. Polo // RGRA. – 2001. – September. – №798.

10. Breaking of bitumen emulsions: which mechanism? [Text] / Fernando Leal Calderon // RGRA. – 2001. – November. – №800.

11. Open-graded asphalt [Text]: pat. № 5144483 USA: C 08L 95/00 / Peter E. Graf, assignee: Chevron Research Company (USA). – 925334, filed 31.10.1986. – 19 cl

12. Казарновская Э.А. Складированные плотные эмульсионно-минеральные смеси для устройства конструктивных слоев дорожных одежд / Э.А. Казарновская, Э.М. Реачева // Совершенствование технологии строительства асфальтобетонных и других черных покрытий: труды СоюздорНИИ. - М.: Государственный всесоюзный дорожный НИИ, 1986.

13. Петухов, И.Н. Технология складированных эмульсионно-минеральных смесей / И.Н. Петухов, А.С. Куцман, И.Н. Шашарина // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов: сборник научных трудов БелдорНИИ. – Минск, 1973.

14. Разработать физико-химические способы регулирования процессов структурообразования в эмульсионно-минеральных смесях с целью ускорения формирования защитных слоев и тонкослойных покрытий из этих смесей: отчет о НИР (заключ.) / РУП «БелдорНИИ»; рук. Опанасенко О.Н.; исполн.: Старостина О.И. [и др.]. – Минск, 2002. – 87 с. – Деп. в РУП «БелдорНИИ», арх. № 997.

15. Смесь для устройства дорожного покрытия [Текст]: пат. 2989 Республика Беларусь: C 08L 95/00, C 04B 26/26 / Крутько Н.П. и др., заявитель и патентообладатель Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси. – № 961097, заявл. 12.02.1996. – 4 с.

16. 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. – С. 15-22.

17. Плотникова, И.А. Влияние вязкости битумов на их эмульгируемость и свойства эмульсии / И.А. Плотникова, А.И. Ляпина // Труды СоюздорНИИ. – Вып. №80: Повышение качества дорожных битумов / СоюздорНИИ. - М., 1975.

18. Understanding the relationship between emulsion properties and binder emulsifier characteristics [Text] / K. V. Nieuwenhuyze, T. Tanghe, P. Verhac, B. Eckmann // RGRA. – 2001. – March. – №793.

19. Characterization of the reactivity of road aggregate with respect to bituminous emulsions. 1: Petrographic analysis [Text] / D. Lesueur, S. Guedon-Dubied, A. Le Roux, L. Odie, C. Le Roux, C. Such, J. J. Potti, J. F. Castilla // BLPC. – 2003. – September. – October. – November. – December. – 246-247. – réf. 4469. – pp. 5-18.

20. Characterization of the reactivity of road aggregate with respect to bituminous emulsions. 2: Exchanges between the aqueous and mineral phases [Text] / D. Lesueur, A. Le Roux, L. Odie, C. Le Roux, C. Such, M. Druon, P. Touze, M. Legret, F. Delfosse, J. J. Potti, J. F. Castilla // BLPC. – 2003. – September. – October. – November. – December. – 246-247. – réf. 4470. – pp. 19-34.

21. Compacting additives in cold techniques [Electronic resource]. - Mode of access: http://www.cecachemicals.com/sites/ceca/en/business/bitumen_additives/process_additives/compacting_additives. page Date of access: 16.02.2010.