

применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве

gost.e-ecolog.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ВОРОНЕЖ
ИЗДАТЕЛЬСТВО
ВОРОНЕЖСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1980

УДК 625.7

В тематическом межвузовском сборнике излагаются результаты исследований свойств смесей из местных материалов и отходов промышленности для устройства конструктивных слоев дорожных одежд. Рассматриваются способы повышения качества органических вяжущих и дорожных одежд из местных материалов.

Сборник рассчитан на научных и инженерно-технических работников, занимающихся исследованием, проектированием и строительством современных дорожных конструкций, а также может быть использован студентами дорожно-строительных специальностей вузов.

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета Воронежского университета

Редколлегия:
канд.техн.наук С.И.Самодуров (науч.ред.), канд.техн.наук В.А.Дементьев (зам.науч.ред.), канд.техн.наук В.А.Кейльман (зам.науч.ред.), В.Г.Еремин, канд.техн.наук А.П.Кузнецов, В.И.Микрин, канд.техн.наук В.И.Резванцев

ИБ № 529

ПРИМЕНЕНИЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
И ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Редактор Т.И. Баскакова
Художник А.Г. Лось
Корректоры Т.Н. Карабут, Н.В. Плахина

Подп. в печ. 04.07.80. ЛЕ 04297. Форм.бум. 60x84/16.
Бумага типографская № 3. Ротапринт 2 Усл. п.л. 5,1.
Уч.-изд. л. 4,6. Тираж 500. Заказ 2425. Цена 70 коп.

Издательство Воронежского университета
Воронеж, ул. Ф. Энгельса, 8

Типография издательства ВГУ
Воронеж, ул. Пушкинская, 3

П 30209-041 63-80 М174(03)-80
© Издательство Воронежского университета, 1980

УДК 624.138.061.6

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ ЗАПОЛНИТЕЛЬ-ВЯЖУЩЕЕ

А.П.Платонов
Ленинградский инженерно-строительный институт

Формирование структур конгломератных материалов происходит в результате топохимического (поверхностного) взаимодействия вяжущего с заполнителем. Метод инфракрасной спектроскопии позволяет получить прямую информацию о природе этого взаимодействия и состоянии вяжущего до и после обработки им заполнителя. Для исследования процессов, происходящих при взаимодействии частиц грунтов с укрепляющими реагентами, в частности со смолами холодного отверждения, впервые этот метод был применен Г.Л.Масленковой [1], М.Н.Першиным [5], Л.М.Новичковой с соавторами [3], А.П.Платоновым [6], Е.Н.Огородниковой [4].

Нами проведено исследование методом ИК-спектроскопии процессов взаимодействия грунтов с полиакриламидом, фурфуролом и анилином, карбамидной смолой.

При исследовании поверхностных явлений методом ИК-спектроскопии пучок излучения проходит как через адсорбированные молекулы (макромолекулы), так и через адсорбент. При этом возможны потери излучения за счет адсорбента. Поэтому для получения достаточно интенсивного спектра применяют образцы с высокой удельной поверхностью в виде мелкораздробленных порошков [2]. Существует два способа приготовления образцов для спектроскопии [1,6].

По первому способу получают 10%-ный раствор полимера в воде, в который вносят равновесное количество грунта. Смесь выдерживают сутки при обычной температуре, избыток воды удаляют фильтров льной

бумагой и доводят до воздушно-сухого состояния. Порошкообразные образцы прессуют в матрице из бромистого калия. Приготовление образцов по первому способу позволяет уменьшить рассеивание ИК-излучения и сохранить поверхность образцов неизменной в процессе взаимодействия частиц с реагентами.

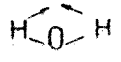
По второму способу образец укрепленного грунта выдерживают определенное время (время формирования) в воздушно-влажной среде, высушивают до воздушно-сухого состояния под вакуумом при обычной температуре, после чего измельчают в агатовой ступке и перемешивают с фторированным и вазелиновым маслом.

В зависимости от задачи исследования спектры снимали в области фтороида лития или хлорида натрия.

ИК-спектры минералов, свободных гидроксильных групп и молекул воды [2].

Поверхности всех окислов покрыты гидроксильными группами и адсорбированными молекулами воды. Валентные колебания свободных гидроксильных групп на кремнеземе характеризуются полосами поглощения с частицами 3750-3760 $см^{-1}$. Полоса при более низкой частоте (3650 $см^{-1}$) относится к гидроксильным группам, участвующим в образовании водородных связей на поверхности окислов.

Для молекулярно-адсорбированной воды в ИК-спектре характерна полоса поглощения в области 1630 $см^{-1}$, обусловленная движением атомов водорода в плоскости молекулы:



Полоса поглощения валентных колебаний гидроксильных групп воды в жидкой фазе появляется в области около 3450 $см^{-1}$ и указывает на наличие водородной связи. Деформированные колебания гидроксильных групп имеют полосы поглощения при частотах, значительно меньших 1600 $см^{-1}$.

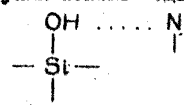
Для SiO_2 полоса поглощения лежит в пределах 1200-1020 $см^{-1}$, для $SiO_2 \cdot n H_2O$ - в пределах 1250-1020, 1856 и 1800 $см^{-1}$. В инфракрасном спектре кварца, измельченного до частиц размером около 1 мкм, полосы поглощения появляются при частотах около 3400, 1100 и 950 $см^{-1}$. Высокочастотная полоса может быть отнесена к валентному колебанию "кислород-водород" поверхностных гидроксильных групп, образованных при реакции молекул воды с группой Si-O или

Si , которые возникают в результате разрыва связей Si-O-Si в исходной структуре кварца. Полоса 1100 $см^{-1}$ относится к деформационному колебанию гидроксильных групп.

ИК-спектры аминов, адсорбированных на монтмориллонитах [6]

В качестве мономеров для укрепления грунтов применяют такие азотсодержащие соединения, как анилин и мочевина. На примере некоторых первичных аминов установлено, что адсорбция первичных аминов происходит на межслоевых поверхностях глин. При адсорбции аминов на кислых монтмориллонитах и монтмориллонитах, замещенных на алюминий, кальций и натрий, образуются катионы алкиламмония $RN^{+}H_3$. При этом количество адсорбированных аминов эквивалентно емкости катионного обмена глинистого минерала. Симметричное деформационное колебание $N^{+}H_3$ обусловливает в спектре интенсивную полосу 1520-1500 $см^{-1}$. Полоса поглощения, соответствующая антисимметричному колебанию, маскируется, по-видимому, полосой деформационных колебаний воды при частоте 1630 $см^{-1}$. Избыток амина приводит к появлению только поглощения деформационного колебания группы $-NH_2$ при частоте 1595 $см^{-1}$. В различных монтмориллонитах моноамины адсорбируются так, что алифатическая цепь направлена перпендикулярно плоскости 001 силикатного слоя.

NH - группы помимо водородных связей типа



образуют через неподеленную пару электронов координационные связи с атомами алюминия и железа.

ИК-спектры системы грунт-полиакриламид

В системе полиакриламид - тяжелый суглинок (рис.1) образование водородных связей подтверждается появлением полосы поглощения водородных групп полимера при частоте 3460 $см^{-1}$ и исчезновением полосы поглощения гидроксильных групп заполнителя. Полосы поглощения межмакромолекулярных связей амидных групп 3350 $см^{-1}$ и 3180 $см^{-1}$ отсутствуют. Полоса поглощения валентных колебаний карбонильной группы смещается от 1668 к 1655 $см^{-1}$. При увеличении молекулярной массы полиакриламида, кроме смещения полос амидных групп, появляется полоса 1595 $см^{-1}$, характеризующая образование и увеличение количества координационных связей между полимером и частицами грунта.

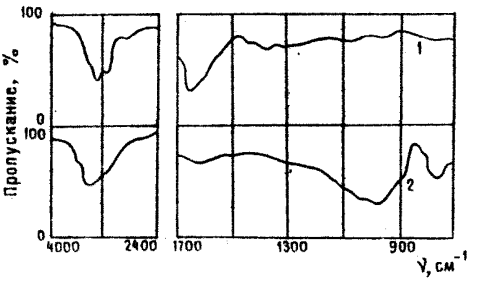


Рис. I. Спектры поглощения полиакриламида (I) и суглинка, обработанного им (2)

ИК-спектры систем грунт - поливиниловый спирт, грунт-акриламид

В ИК-спектрах систем грунт-поливиниловый спирт, грунт-акриламид полосы поглощения водородных связей 3430 $см^{-1}$, гидроксильных групп грунтовых частиц - 3630 $см^{-1}$ и деформационных колебаний силоксановых связей 800 $см^{-1}$ отсутствуют (рис.2,кривые 1,2, рис.3,кривые 2,3). Отсутствует и полоса поглощения 3340 $см^{-1}$, соответствующая внутримолекулярным связям ПВС. Из сравнения спектров (рис.3,кривые 1,2 и 4,5) видно, что полоса поглощения валентных колебаний гидроксильных групп 3630 $см^{-1}$ при обработке грунта реагентами исчезает и появляется полоса 3440 $см^{-1}$, соответствующая водородным связям, образованным амидной ($-CONH_2$) и гидроксильной (OH) группами грунта. Вместо полос поглощения амид-I (1668 $см^{-1}$) и амид-II (1610 $см^{-1}$), характерных для валентных колебаний карбонильной ($>C=O$) и аминогрупп (NH_2), связанных водородными связями, появляются полосы 1668, 1620, 1595 $см^{-1}$, что можно интерпретировать как смещение полос в результате образования координационных связей между макромолекулами полимера и некомпенсированными зарядами кристаллических решеток глинистых минералов.

В ИК-спектрах систем, грунты в которых были представлены супесью, пылеватым суглинком и кварцем,отмечены незначительные изменения полос поглощения, что говорит о слабом взаимодействии компонентов. Это обусловлено, по-видимому, незначительным содер-

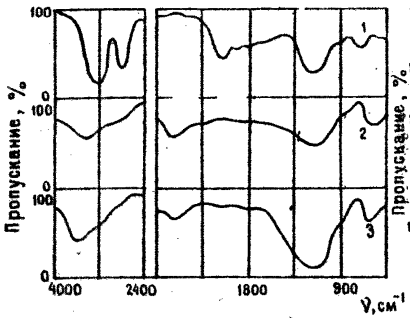


Рис. 2. Спектры поглощения поливинилового спирта (I) и обработанных им суглинка (2) и чернозема (3)

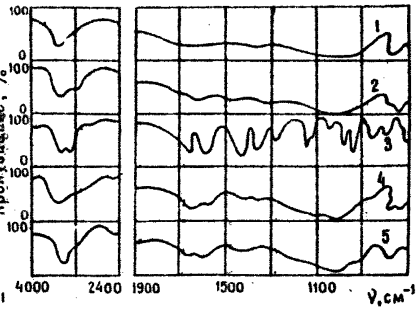


Рис.3. Спектры поглощения тяжелого суглинка (I), чернозема (2), акриламида (3), тяжелого суглинка (4) и чернозема (5), обработанных акриламидом

ханием коллоидной фракции в грунтах и слабой активностью глинистых минералов, ее составляющих.

ИК-спектры системы каолин-фурфурол-анилин

Для выяснения механизма взаимодействия фурфурола и анилина с грунтами при равном порядке их внесения снимали ИК-спектры каолина до и после обработки их реагентами (рис. 4). Результаты приведены в таблице.

В ИК-спектре каолина, обработанного анилином, интенсивность полос поглощения 3512, 3478 и 3435 $см^{-1}$ (в отличие от тех же полос поглощения ИК-спектра чистого каолина, которые можно отнести к валентным колебаниям гидроксильных групп), сильно возрастает, что можно объяснить возникновением межмолекулярных связей за счет гидроксильных групп. По сравнению с ИК-спектром чистого каолина в ИК-спектре каолина, обработанного фурфуролом и анилином, резко уменьшается и смещается на 11 $см^{-1}$ полоса поглощения 3512 $см^{-1}$, что можно объяснить возникновением внутримолекулярных водородных связей.

В спектре каолина, обработанного вначале анилином, а затем фурфуролом, интенсивность всех трех полос поглощения по сравнению с чистым каолином уменьшается не так резко, как в спектре каолина, обработанного фурфуролом, а затем анилином, что говорит о блокировании аминогруппы анилина при внесении его в грунт первым и о химическом взаимодействии с фурфуролом при внесении вторым.

ИК-спектры системы песок - карбамидная смола

Интенсивность полос поглощения укрепленных естественных образцов (рис. 5, кривые 4) выше интенсивности полос поглощения образ-

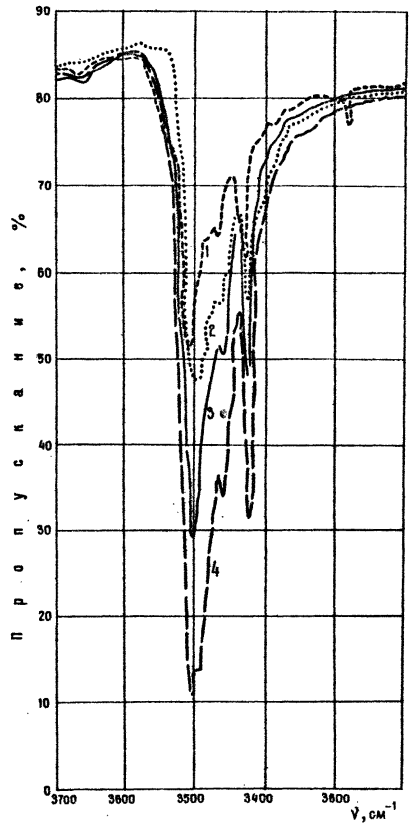


Рис.4. Спектры поглощения каолина, обработанного фурфуролом и анилином (I), анилином и фурфуролом (2), каолина (3) и каолина, обработанного анилином (4)

Таблица

Результаты анализа ИК-спектров реагентов и грунтов, обработанных ими

Объект исследования	Функциональная группа	Полосы поглощения и их характеристика
Анилин	$-NH_2$	3170-3390см$^{-1}$
Каолин	$-OH$	3512, 3478, 3435 см$^{-1}$
Каолин + анилин	$-OH$; $-NH_2$	3512, 3478, 3435 см$^{-1}$. Возрастание интенсивности полос поглощения. Возникновение водородных связей
Каолин+ фурфурол + + анилин	$-OH$; $-NH_2$	Уменьшение интенсивности полос поглощения, смещение полосы 3512 см-1 вследствие образования мех- и внутримолекулярных водородных связей
Каолин + анилин + + фурфурол	$-OH$; $-NH_2$	Менее значительное уменьшение полос поглощения, обусловленное блокировкой аминогруппы

нов бе аутигенных пленок при одинаковом положении полос (см.рис.5, кривые 3). Полосы поглощения ИК-спектра карбамидной смолы (см.рис.5, кривые 5) значительно отличаются от полос ИК-спектра грунтов, обработанных

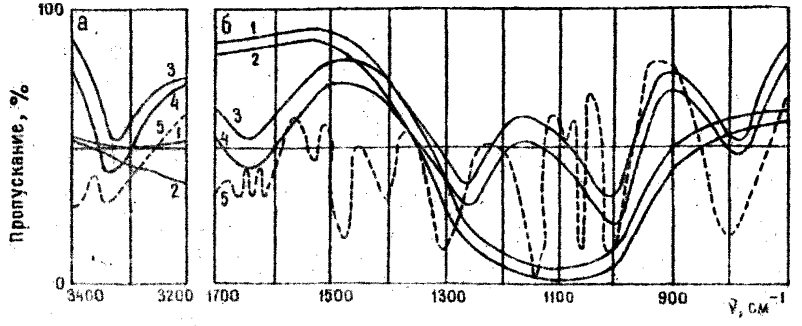


Рис.5. Спектры поглощения в области призм фторида лития (а) и хлорида натрия (б) песчаного грунта без аутигенных пленок (1), и с аутигенными пленками (2), песка без аутигенных пленок, обработанного карбамидной смолой (3), песка с аутигенными пленками, обработанных карбамидной смолой (4) и карбомидной смолы (5)

смолой (см.рис.5, кривые 3,4).Так,полоса 8I0 $см^{-I}$ смещена в более низкочастотную,а полосы поглощения карбонильных групп - в более высокочастотную область. Частоты валентных колебаний NH - групп смещены в обработанных грунтах в низкочастотную область. Вместо двух полос NH - группы в спектре смолы в спектре обработанных смолой грунтов появляется лишь одна полоса 3325 $см^{-1}$. При обработке гидрата окиси железа карбамидной смолой в ИК-спектре обнаруживаются полоса 3410 $см^{-1}$, характерная для гидрата окиси железа, и полоса 3290 $см^{-1}$, появление которой свидетельствует об образовании водородных связей между гидратом окиси железа и макромолекулами карбамидной смолы [3]. Приведенные данные указывают на взаимодействие макромолекул карбамидных смол с частицами песчаных грунтов за счет водородных и координационных связей.

Таким образом, ИК-спектроскопия позволяет выяснить механизм процессов, происходящих на поверхности грунтовых частиц при формировании конгломератов на основе систем заполнитель-вяжущее.

Литература

1. Масленкова Г.Л. Исследования природы склеивающей способности полимеров при искусственном структурообразовании почв. Автореф. канд. дис. Л., 1962.

2. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений.М., 1966.

3. Новичкова Л.М. и др. Исследование взаимодействия некоторых водорастворимых полимеров с грунтами по инфракрасным спектрам - Материалы 6-го Всесоюз. совещания по закреплению и уплотнению грунтов. Л., 1971.

4. Огородникова Е.Н. Влияние железистых пленок при укреплении минералов карбамидной смолой. - Там же.

5. Першин М.Н. Укрепление грунтовых дорог в распутицу. Л., 1966.

6. Платонов А.П. Теоретические основы и практические способы применения смол холодного отверждения для укрепления грунтов в транспортном строительстве. Л., 1972.

УДК 625.7.06/07

В.В.Картамышев

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВА И СВОЙСТВ БИТУМА МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Ростовский инженерно-строительный институт

Исследовали изменения состава и свойств битума марки 60/90 под влиянием климатических факторов в естественных условиях. Пробы битума в специальных ванночках (толщина слоя 1,5-2 мм) экспонировали в г.Ростове-на-Дону в течение 6, 12 и 18 месяцев. После каждого срока старения определяли степень изменения свойств битума.

Через 18 месяцев старения проб битума глубина проникания уменьшилась от 81 до 24 дмм, температура размягчения увеличилась от 40,5 до 58°, растяжимость снизилась от 100 до 48 см, когезия увеличилась от 1,15 до 2,50 10^5·Па. Изменился групповой химический состав битума (табл.1). В нем значительно уменьшилось содержание масел (с 45,7 до 39,2%) и увеличилось содержание асфальтенов (с 28,4 до 31,2%). Количество смол уменьшилось незначительно. В маслах снизилась доля ароматических углеводородов, в смолах увеличилась доля спиртобензольных смол. Полученные результаты находятся в соответствии с теоретическими исследованиями [1].

Таблица 1

Групповой состав битума после старения, %

Время старения, месяцы	Углеводороды (масла)					Смолы			Асфальтены
	парафино-вые	легкие ароматические	средние ароматические	тяжелые ароматические	всего	бензольные	спиртобензольные	всего	
0	2,0	33,5	7,1	8,1	45,7	18,0	17,7	30,7	28,4
12	2,3	29,8	6,9	2,2	41,2	12,5	18,4	30,9	27,6
18	3,8	28,3	6,2	0,9	39,2	9,1	19,3	28,4	31,2

Представляло интерес выяснить, как изменяются свойства битума в составе асфальтобетона в процессе эксплуатации покрытий. Для это-

го из вырубок верхнего слоя покрытия различных сроков службы были взяты пробы битума. Были определены глубина проникания и в отдельных пробах (вблизи точки максимальной прочности асфальтобетона) установлены когезия, количество асфальтенов и сняты ИК-спектры (табл. 2,8, рис. 1).

Как показывают результаты исследования, глубина проникания закономерно снижалась и достигала 27-30 дмм, что может считаться критическим значением для климатических условий Ростовской области.

Таблица 2

Свойства битумов, экстрагированных из верхнего слоя покрытия различных сроков службы

Показатели	Срок службы покрытия, годы											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Глубина проникания, дмм	67-70	58-61	53-55	48-50	43-46	40-43	41-42	36-38	34-35	31-33	27-30	
Содержание асфальтенов,%	-	-	-	-	-	-	-	-	39,23	41,4	-	
Когезия, 10^5-Па	-	-	-	-	-	-	-	8,11	8,58	8,25	-	

Максимальная когезионная прочность битума зафиксирована примерно на 1-1,5 года ранее максимальной прочности асфальтобетона. Содержание асфальтенов в битуме к этому времени составило 39,2%, что свидетельствует о достижении битумом максимальной структурной прочности [1]. Дальнейшее увеличение количества асфальтенов ведет к разрушению структуры битума. Это подтверждается данными о резком снижении прочности асфальтобетона на сжатие и растяжение после 9-11-го года эксплуатации покрытий [7].

Для выявления химических и структурных изменений в битуме был применен метод инфракрасной спектроскопии. ИК-спектры снимали с образцов битума в виде пленок на спектрометре UR-20 и расшифровывали с помощью специальных таблиц и диаграмм [2-5].

Для анализа была выбрана область ИК-поглощения 400-2100 $см^{-1}$, которая характеризуется колебаниями разнообразных структурных фрагментов: парафиновых, ароматических, карбонильных и т.д. Каждый структурный фрагмент характеризуется своим набором полос поглощения. Так, полоса поглощения в области 725 $см^{-1}$ обусловлена маятниковыми колебаниями CH_2 - групп в полиметиленовых цепочках.

880 $см^{-1}$ - наличием нафтеновых фрагментов, 1040 $см^{-1}$ - присутствием эфиров и спиртов (соответствует симметричным и асимметричным колебаниям С-О-С), 1610 $см^{-1}$ - плоскостными скелетными колебаниями ароматического кольца, присущими большинству ароматических структур, 1710 $см^{-1}$ - валентными колебаниями карбонильной группы С = О (проявляется в окси- и карбоксисоединениях, т.е. альдегидах, эфирах, кетонах и кислотах ациклического, циклического и ароматического рядов) [2-6].

Таблица 8

Изменение интенсивности поглощения структурных фрагментов битума при его старении

Сроки старения битума	Относительная интенсивность поглощения структурных фрагментов битума в диапазоне волновых чисел ($см^{-1}$)					
	725	880	1040	1380	1610	1710
Эталонная полоса поглощения 1467 $см^{-1}$						
0	0,30	0,30	0,29	0,77	0,45	0,30
6 месяцев	0,32	0,29	0,35	0,79	0,50	0,48
12 -"-	0,25	0,28	0,31	0,78	0,61	0,40
18 -"-	0,30	0,27	0,40	0,79	0,50	0,48
10 лет	0,31	0,40	0,66	0,78	0,48	0,49
11 -"-	0,32	0,47	0,64	0,72	0,52	0,51
12 -"-	0,32	0,45	0,77	0,78	0,49	0,50
Эталонная полоса поглощения I380 $см^{-1}$						
0	0,39	0,39	0,37	1,29	0,60	0,39
6 месяцев	0,41	0,37	0,45	1,27	0,68	0,55
12 -"-	0,30	0,30	0,39	1,28	0,76	0,51
18 -"-	0,41	0,34	0,50	1,27	0,66	0,61
10 лет	0,42	0,52	0,89	1,34	0,67	0,66
11 -"-	0,44	0,65	0,89	1,38	0,72	0,69
12 -"-	0,44	0,62	1,06	1,40	0,68	0,68

Содержание структурных фрагментов оценивали по относительной интенсивности поглощения (за вычетом фона), измеряемой в максимумах полос, соответствующих виду колебания данного фрагмента, в сравнении с эталонной полосой, что позволяло исключить влияние на ИК-спектры толщины пленок и концентрации растворителя. За эталонные принимали полосы 1380 и 1467 $см^{-1}$.

Спектры всех проб битума оказались одинаковыми по характеру и набору структурных фрагментов, но различными по относительным величинам интенсивностей полос поглощения (см.рис. 1,2, табл. 3). Относительная интенсивность полосы 1467 $см^{-1}$, обусловленная преимущественно ножничными колебаниями CH_2- групп, была менее стабильной, чем интенсивность полосы 1380 $см^{-1}$, связанная с симметричными колебаниями CH_3-групп. Поэтому при анализе спектров в качестве эталонной была выбрана полоса 1380 $см^{-1}$.

Неизменяемость относительной интенсивности полосы 1380 $см^{-1}$ при длительной экспозиции битумов свидетельствует о сохранении в них числа метильных групп. Поскольку окисление метильных групп не происходит или является слабым (незначительное изменение полосы 1380 $см^{-1}$), можно считать, что эти группы не связаны с ароматическими кольцами. Частичное изменение интенсивности в области 1467 $см^{-1}$ позволяет судить о том, что метиленовые группы в асфальтенах могут изменяться при окислении.

Рост относительной интенсивности суммарного карбонильного и карбоксильного поглощения в полосе 1710 $см^{-1}$ наиболее заметен в первые сроки старения битума. В битумах из покрытий, достигших максимальной когезионной прочности, относительная интенсивность этой полосы стабилизируется. Интенсивность других полос поглощения меняется менее значительно.

Можно полагать, что при старении в битуме происходят внутримолекулярная циклизация, изменяется взаимная ориентация и перегруппировка функциональных групп. Окислительные процессы протекают в битумах по схеме цепного механизма окисления Баха-Энглера [9]. Очевидно, при действии солнечной радиации в смолах и асфальтенах образуются свободные радикалы, которые могут инициировать появление свободных радикалов в маслах [8]. Свободные радикалы, реагируя с кислородом, образуют перекисные радикалы и гидроперекиси, дальнейшие превращения которых ведут к возникновению высокомолекулярных веществ смешанного характера.

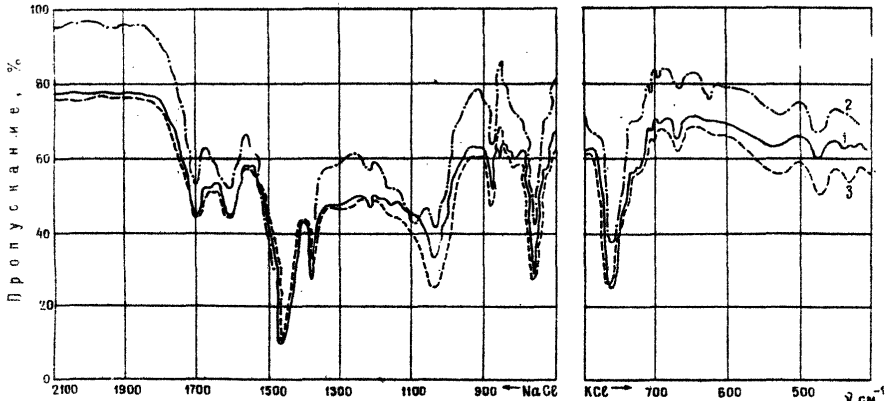


Рис. 1. ИК-спектры битумов из покрытий различных сроков службы (лет): 1 - 10; 2 - 11; 3 - 12

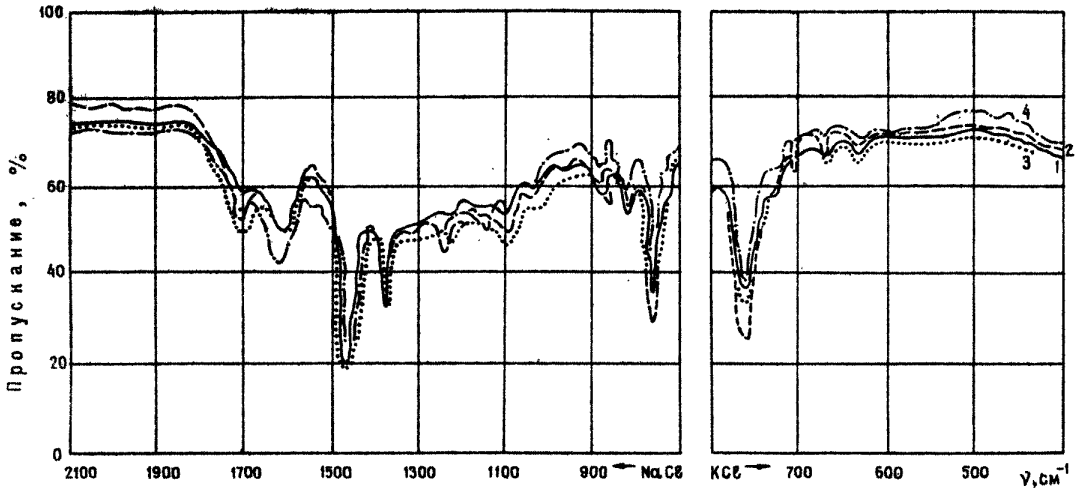


Рис. 2. ИК-спектры битума после старения в естественных условиях г.Ростова н/Д:
1 - исходного, 2 - через 6 месяцев старения;
3, 4 - через 12 и 18 месяцев старения соответственно

Литература

1. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. М. 1973.
2. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М., 1963.
3. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М, 1965.
4. Кавицына Л.А., Куплетская М.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. М., 1971.
5. Смирнов Б.А. Сравнительное изучение состава сложных смесей органических веществ комбинированным спектральным микрометодом анализа. - В кн.: Методы анализа органических соединений нефти, их смесей и производных. М., 1969.
6. Глотова Н.А. и др. Изучение структурно-группового состава битумов различного происхождения. - Химия и технология топлив и масел, 1973, № 1.
7. Картамышев В.В. Динамика изменения во времени свойств битумоминеральных смесей, уложенных в покрытие. - В кн.: Пути повышения качества и снижения стоимости строительства и эксплуатации дорог на юге РСФСР. Ростов н/Д, 1976.
8. Железко Е.П., Печеный Б.Г. О кинетике образования и рекомбинации свободных радикалов в битумах. - Тр. СоюздорНИИ, Балашиха, 1970, вып. 46.
9. Эмануэль Н.М. и др. Цепные реакции окисления углеводородов в жидкой фазе. М., 1965.

УДК 691.16(0.88.8)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМУЛЬГИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ АНИОНАКТИВНОГО ЭМУЛЬГАТОРА ЭВШ

В.А.Харченко, Л.М.Чигиринцева, Т.С.Элькина

Воронежский инженерно-строительный институт,

Шебекинский комбинат синтетических жирных кислот и жирных спиртов

Качество дорожных битумных эмульсий зависит от эмульгатора, который должен обладать физико-химическими свойствами [1], способствующими понижению поверхностного натяжения на границе раздела фаз и образованию прочных гидратированных пленок в системе битумной эмульсии. Такие свойства имеют коллоидные и полуколлоидные поверхностно-активные вещества.

Нами исследована эмульгирующая способность анионактивного эмульгатора ЭВШ,полученного путем содового омыления парафинового оксидата.

Эмульгатор ЭВШ представляет собой смесь органических соединений: углеводородов, спиртов, кислот и их солей примерно в равных количественных соотношениях. Число углеводородных атомов в цепи компонентов - порядка C_5-C_{22}. ЭВШ - пастообразная масса светло-желтого цвета, хорошо растворимая в воде; плавится при 35-36°, закипает при 60°; содержание сухих веществ 65-75%; кислотное число 24,6 мг КОН, число омыления 70 мг КОН, pH водного раствора 55%-ной концентрации при 25° 1,17. Эмульгатор проявляет стабилизирующие свойства при взаимодействии с битумом, образуя анионные битумные эмульсии прямого типа.

При исследовании процесса эмульгирования битума изучали влияние на эмульгирующую способность эмульгатора ЭВШ его концентрации в воде (40-62%), температурного режима приготовления высококонцентрированной эмульсии и разведения ее водой до рабочей концентрации битума (53%).Поскольку эмульгатор ЭВШ характеризуется числом омыления 70 мг КОН и более, то его применяли как готовый эмульгатор без дополнительной химической обработки едкой щелочью.

Приготовление битумных эмульсий на эмульгаторе ЭВШ включает следующие этапы:

1) приготовление водного растора эмульгатора;
2) получение высококонцентрированной битумной эмульсии на водном растворе эмульгатора;
3) разведение высококонцентрированной эмульсии водой до рабочей концентрации битума в эмульсии.

Примененная нами методика получения высококонцентрированной битумной эмульсии согласуется с методикой, разработанной ранее Л.Я.Кремневым и Л.А.Бородиной [2]. Отличие состоит в том, что эмульгирование битума мы рассматриваем как непрерывный процесс, включая в него перевод высококонцентрированной эмульсии в эмульсию с рабочей концентрацией битума. Поэтому этап разведения водой высококонцентрированной эмульсии до рабочей концентрации битума является составной частью процесса получения эмульсий.

Эмульгирование битума в водных растворах эмульгатора проводили при температуре от 50 до 75°. Растворы эмульгатора нагревали до 40–55°, битум – до 65–80°.

Главная задача при исследовании процесса эмульгирования битумов в водных растворах эмульгатора состояла в установлении оптимальной концентрации дисперсной фазы (битума), которая должна быть несколько ниже ее предельной концентрации во избежание коалесценции (слияния) битумных капель и разрушения системы эмульсии, т.е. перехода в эмульсию обратного типа.

Из приведенных в табл.I примеров эмульгирования битума БНД-60/90 с кислотным числом 0,75 мг КОН в водных растворах эмульгатора концентрации 40 и 55% следует, что на каждом этапе эмульгирования тип и свойства эмульсии меняются. Вначале образуется эмульсия прямого типа (М/В) пониженной дисперсности, а затем, по мере увеличения концентрации битума, она становится высокодисперсной и хорошо разводится водой. Дальнейшее увеличение концентрации битума приводит к его предельной концентрации, что обусловливает образование эмульсии обратного типа (В/М), которая не разводится водой. Из этого следует, что процесс эмульгирования битума нужно прекращать при его концентрации на 1,5–3% ниже предельной.

Анализ данных таблицы 1 показывает также что на процесс эмульгирования битума влияет концентрация эмульгатора в водном растворе. Так, при 40%-ной концентрации эмульгатора процесс эмульгирования битума протекает несколько замедленно. Об этом свидетельствует относительно невысокая (около 85%) концентрация битума в эмульсии. Высококонцентрированная эмульсия при разведении водой до рабочей концентрации битума (58%) содержит точечный коагулюм битума, который образуется в результате частичного слипания глобул битума в более крупные его сгустки. В таком состоянии эмульсия малоустойчива при хранении. При 55%-ной концентрации эмульгатора процесс эмульгирования битума протекает более интенсивно. Предельная концентрация эмульгированного битума достигает почти 98%.

Таблица 1

Изменение состава и свойств эмульсии с битумом БНД-60/90 (кислотное число 0,75 мг КОН) на отдельных этапах ее изготовления

Концентрация эмульгатора в воде, %	Этапы эмульгирования	Эмульгатор ЭВШ в расчете на безводный		Вода		Битум		Тип и свойства эмульсии
		г	% от массы эмульсии	г	% от массы эмульсии	г	% от массы эмульсии	
40	I	2,5	18,8	3,74	28,2	7,0	53,0	М/В, пониженной дисперсности
40	II	2,5	12,4	3,74	18,4	14,0	69,2	То же
40	III	2,5	9,5	3,74	14,2	20,0	76,3	
40	IУ	2,5	8,0	3,74	12,0	25,0	80,0	М/В, при разведении водой образует точечный коагулюм битума
40	У	2,5	7,1	3,74	10,6	29,0	82,3	То же
40	IУ	2,5	6,1	3,74	9,0	35,0	84,9	В/М, не разводится водой
55	I	2,5	17,0	2,04	13,9	10,2	69,1	М/В, пониженной дисперсности
55	II	2,5	9,7	2,04	8,0	21,0	82,0	То же
55	III	2,5	6,8	2,04	5,6	32,0	87,6	,,
55	IУ	2,5	5,6	2,04	4,9	39,0	89,5	М/В, высокодисперсная, разводится водой
55	У	2,5	5,4	2,04	4,8	42,0	90,3	То же, хорошо разводится водой
55	У1	2,5	3,9	2,04	3,2	59,0	92,9	В/М, не разводится водой

Эмульсия получается высокодисперсной, устойчивой при хранении и хорошо разводится водой.

В табл. 2 приведены данные эмульгирования битума БНД-60/90 с кислотным числом 0,75 мг КОН заводского изготовления и битума БН-Ш с кислотным числом 0,80 мг КОН, полученного окислением гудрона в бескомпрессорной установке.

Из данных табл. 2 следует, что на процесс эмульгирования влияет как концентрация эмульгатора в водном растворе, так и физико-химические свойства битумов. Оптимальной концентрацией эмульгатора для исследуемых битумов следует считать 55%-ную, так как дальнейшее увеличение ее не способствует значительному увеличению содержания битума в эмульсии.

Большое влияние на процесс эмульгирования битумов оказывает температурный режим.

Оптимальная температура эмульгирования исследуемых битумов в водном растворе эмульгатора ЭВШ при 55%-ной концентрации составляет 65-70° (табл. 3). Нагревание свыше 72-75° приводит к коагуляции битумов в эмульсии, понижение температуры ниже 50° способствует образованию грубых дисперсий.

Таблица 2

Влияние концентрации эмульгатора в водном растворе на предельную концентрацию битума в эмульсии

Концентрация эмульгатора в водном растворе,%	Предельная концентрация в эмульсии,% битума	
	БНД-60/90 (кислотное число 0,75 мг КОН)	БН-Ш (кислотное число 0,80 мг КОН)
40	84,9	70,0
42	85,3	73,7
45	85,4	78,2
48	88,2	80,8
50	90,2	81,5
53	91,1	85,0
55	92,9	88,2
58	93,0	89,5
60	93,1	90,6
62	93,2	91,3

Проведенное исследование эмульгирующей способности эмульгатора ЭВШ позволило получить его оптимальный состав и разработать технологию приготовления анионной битумной эмульсии как особого вида органического вяжущего для дорожных смесей.

Таблица 8

Влияние температуры эмульгирования на концентрацию битума в эмульсии

Температура эмульгирования, °С	Процент в эмульсии эмульгированного битума	
	БНД-60/90 (кислотное число - 0,75 мг КОН)	БН-Ш (кислотное число - 0,80 мг КОН)
52	84,8	82,8
56	85,4	84,6
60	87,6	85,8
68-65	90,8	87,6
68	91,5	89,0
70	92,9	89,2
72	86,8	84,1

Примечание. Был применен водный раствор эмульгатора ЭВШ 55%-ной концентрации.

Литература

1. Бородина Л.А., Гельфанд С.И. Исследование свойств эмульгаторов для получения дорожных битумных эмульсий. - В кн.: Исследование органических вяжущих дорожно-строительных материалов. М., 1947.

2. Кремнев Л.Я., Бородина Л.А. Получение высококонцентрированных эмульсий в лопастной мешалке. М., 1962.

УДК 625.7.08

ИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ГУДРОНА

Ф.А.Северинов, Д.М.Халеев, В.П.Гладких

Воронежский инженерно-строительный институт

Окисление гудрона в битум - энергоемкий процесс, требующий строгого соблюдения технологического режима. В то же время качество получаемых битумов не всегда отвечает требованиям ГОСТа 22245-76, что отражается на качестве покрытий автомобильных дорог. В отраслевой научно-исследовательской дорожной лаборатории при ВИСИ разработана технология приготовления горячих асфальтобетонных смесей, которая предусматривает замену традиционной схемы гудрон - битум - асфальтобетонная смесь схемой гудрон - асфальтобетонная смесь. В соответствии с этой схемой технологические процессы переработки гудрона в битум и приготовление асфальтобетонных смесей совмещены в один процесс.

Горячие асфальтобетонные смеси на основе гудрона готовят на установке, основу которой составляет смеситель Д-597, Д-508 или любой другой смеситель принудительного перемешивания. Смеситель оборудован гребенками для подачи горячего воздуха в мешалку, емкостью для дозирования и подачи инициатора процесса окисления, дымососом, позволяющим удалять образующуюся паро-газовую смесь из объема мешалки. В состав установки входят компрессор подачи воздуха, воздухонагреватель, емкости с центробежным насосом и трубопроводами, обеспечивающими подачу и циркуляцию инициатора процесса.

Минеральный заполнитель, проходя через сушильный агрегат, нагревается до температуры 200-220^0 и подается в бункер дозатора, из которого отдозированные фракции вводятся в мешалку. В нее подается и отдозированный в объемном дозаторе гудрон с температурой 100-120^0. Гудрон, имеющий меньшую вязкость, чем битум, хорошо распределяется по поверхности минерального заполнителя, обволакивая тонкой пленкой его зерна. После введения и распределения в мешалке гудрона в нее подается инициатор процесса окисления в количестве от 3 до 6% от массы смеси. Перемешиваемая смесь продувается воздухом, предварительно подогретым в воздухонагревателе до температуры более 100^0 и подаваемым в количестве 1,5-6 м^3/мин. Продувка смеси горячим воздухом увеличивает поверхность контакта гудрона

с окислителем, что приводит к возрастанию скорости окисления. Кроме того, частично компенсируются потери тепла на испарение влаги, вводимой в мешалку с инициатором процесса.

Описанная технология была применена в 1978 г. в ДСУ-28 треста "Киевдорстрой-2" и Смоленском ДРСУ управления "Алтайавтодор". Было произведено дооборудование смесителей дополнительными устройствами, установлены емкости для приема инициатора процесса окисления, в качестве которого была использована водная пульпа гипохлорита кальция: в ДСУ-28 - 6%-ная в количестве 6% от массы смеси, в Смоленском ДРСУ - 10%-ная в количестве 4% от массы смеси. Причем было установлено, что улучшению качества смеси способствует медленное введение в нее пульпы в течение всего времени перемешивания. Это объясняется, по-видимому, более полным взаимодействием окислителя с гудроном при медленном введении пульпы. При ее разовом введении значительная часть активного хлора выбрасывается из зоны смешения вместе с отходящей паро-газовой смесью, не успевая вступить во взаимодействие с окисляемой поверхностью.

В таблице приведены основные физико-механические показатели асфальтобетонов, полученных на основе гудрона по новой технологии.

Таблица

Физико-механические показатели	Значения показателей при различной концентрации пульпы гипохлорита кальция	
	6%-ной	10%-ной
Условная вязкость гудрона C^5_{80},°С	20	30
Водонасыщение по объему, %	1,4	3,1
Набухание по объему, %	Нет	Нет
Предел прочности при сжатии, Па·10^5 при температуре; °С:		
20	24,5	28
50	10,2	12
Коэффициент водостойкости	0,92	0,9

Изготовленные горячие асфальтобетонные смеси отвечают требованиям ГОСТа 9127-76 для смесей I и II марок.

На выходе из смесителя температура смесей была равна 145-160°. Смеси были удобоукладываемые и не комковались.

Экономический эффект от внедрения новой технологии составля-

от 1600 руб. на 1 км покрытия дороги или 14 руб. на 1 т гудрона, использованного вместо битума.

УДК 625.855.

ВЛИЯНИЕ КАУЧУКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ

А.И. Крупан

Воронежский инженерно-строительный институт

Добавки полимеров, особенно эластомеров (каучуков), значительно улучшают механические свойства битумных материалов [1]. Каучук в виде раствора легко и быстро растворяется в битуме, образуя в нем непрерывную сетку (структуру) из крупных разветвленных молекул каучука [2]. Такое структурирование придает битуму новые ценные свойства: упругость, эластичность, термостойкость, долговечность.

Нами исследованы реологические характеристики дорожных битумов и битумно-каучуковых вяжущих (БКВ) и влияние добавок каучуковых материалов на структурно-механические свойства дорожных битумов. БКВ готовили путем объединения расплавленного и обезвоженного битума с раствором каучука в керосине при температуре 180° в открытом реакторе при непрерывном перемешивании в течение 0,5; 1; 1,5 часа.

Характеристика исходных материалов для приготовления битумно-каучуковых вяжущих: битум БНД-60/90 Киришского нефтеперерабатывающего завода: $П_{25}$ - 65 дмм, $П_0$ - 20 дмм, $Т_р$ - 52,5°; $Д_{25}$ - 100 см; $Д_0$ - 8,6 см. Каучуки: СКД - Воронежского завода СК им. С.М.Кирова (ТУ-38-103320-76); СКС-30 АРКПН - Ефремовского завода СК (ТУ-38-103820-76). Керосин - осветительный (ГОСТ 18499-73).

Концентрации растворов в керосине: СКД - 15%, СКС-30 АРКПН - 15% и 20%.

Изучение структурно-механических характеристик битумов и БКВ проводили на ротационном вискозиметре РВ-8 системы Воларовича в интервале температур от 25 до 80°.

Все исследованные нами вяжущие при температуре 80° и ниже

представляют собой условно-пластичные тела с высокой прочностью и вязкостью. Предельного разрушения структуры при выбранных температурах в области высоких градиентов скоростей достигнуть не удалось. На кривых течения $\dot{\varepsilon}(P)$ имеют место начальные участки полных реологических кривых. Анализ структурно-механических свойств рассматриваемых БКВ показывает, что кривые течения имеют один и тот же характер, однако значения реологических констант БКВ, содержащего каучук СКД, выше, чем БКВ, содержащих СКС-30 АРКПН. Например, значение P_2 (граничного напряжения сдвига) больше у БКВ, содержащего СКД, чем у БКВ, содержащего СКС-30 (см. таблицу), что указывает на большую прочность и устойчивость структуры этого БКВ. Сравнивая БКВ, содержащие СКС-30 с различным количеством растворителя (керосина), можно отметить, что с уменьшением растворителя в системе битум - каучук - керосин (растворитель) прочность и устойчивость структуры вяжущего повышается.

Эффективная вязкость ($\eta_{эф}$) всех вяжущих с повышением температуры от 60 до 80° уменьшается (см.рисунок), однако характер зависимости для разных материалов различен. Так, $\eta_{эф}$ битума при напряжениях сдвига порядка $4 \cdot 10^5$ Па уменьшается в 20 раз, в то время как $\eta_{эф}$ БКВ - в 13:4 раза.

Разрушение структуры битума при температуре 80° наступает при напряжениях сдвига $(6 \div 6{,}5) \cdot 10^5$ Па, тогда как битумно-каучуковые вяжущие при тех же напряжениях сдвига остаются структурированными жидкостями.

Из сравнения БКВ, содержащих каучук СКД и СКС-30 АРКПН, следует, что дивиниловый каучук СКД оказывает большее упрочняющее

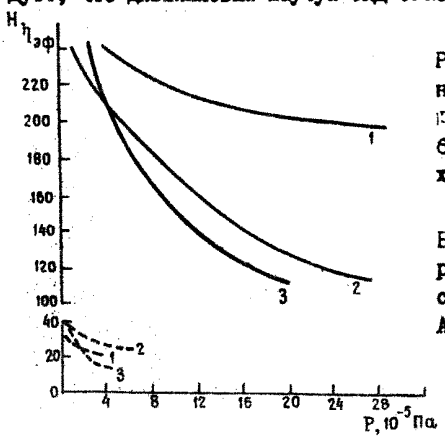


Рисунок. Зависимость эффективной вязкости $\eta_{эф}$ от напряжения сдвига P при температуре 60° (сплошные линии) и 80° (штриховые линии) вяжущих:

1 - битума БНД - 60/90; 2 - БНД - 60/90 в смеси с 15%-ным раствором СКД; 3 - БНД-60/90 в смеси с 15%-ным раствором СКС-30 АРКПН

Таблица

Материал	Время приготовления вяжущего, ч	t, °C	$\eta_0 \cdot 10^2$ Па	$P_ч \cdot 10^2$ Па	$\dot{\eta}_0 \cdot 10^2$ Па	$P_{к_2} \cdot 10^2$ Па
БНД-60/90		60°	2,6	18	2,25	4,2
БНД-60/90 20%-ной концентрации	0,5	"	0,477	9	0,454	5,4
То же	1	"	0,941	7,6	0,76	2,6
То же	1,5	"	0,928	10	0,667	2,9
БНД-60/90+СКС 15%-ной концентрации	0,5	"	0,472	7,2	0,382	3,3
То же	1	"	0,545	4	0,408	0,8
То же	1,5	"	1,683	16,2	1,483	2,8
БНД-60/90+СКД	0,5	"	1,60	12,0	0,845	4,2
То же	1	"	2,15	10,4	1,444	3,6
То же	1,5	"	2,09	16,8	1,616	4,6

действие на структуру битума, чем стирольный СКС-30.

Выводы

1. Введение каучуков в битумы расширяет температурный интервал использования вяжущих и повышает их прочностные характеристики.

2. Из сравнения БКВ, содержащих каучуки СКД и СКС-30 АРКПН, следует, что большее упрочняющее действие на битум оказывает каучук СКД.

Литература

1. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. М.,1973.

2. Горшенина Г.И., Михайлов Н.В. Полимер-битумные изоляционные материалы. М., 1967.

УДК 691.16:625.855.3

АКТИВАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ НЕКОТОРЫМИ ОТХОДАМИ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н.И.Сулин, В.А.Харченко

Воронежский инженерно-строительный институт

Асфальтовые бетоны, приготовленные на активированных минеральных порошках, имеют повышенную плотность, тепло-, морозо- и водоустойчивость, а также требуют меньшего (на 8-10%) расхода битума по сравнению с асфальтобетонами на известковых порошках [2,3].

Для активации минеральных порошков, входящих в состав асфальтобетона, применяют дорогостоящие поверхностно-активные вещества. Поэтому необходимо изыскание возможностей использования для активации минеральных порошков отходов химической промышленности. Такими отходами являются каучукоподобные материалы заводов СК, полимеры бензольного отделения (ПБО) и некондиционные каменноугольные смолы (КУС) предприятий коксохимической промышленности [1,4,5].

Нами испытаны асфальтобетонные смеси на активированных минеральных порошках с применением указанных отходов химической промышленности. Для приготовления минеральных порошков использовали известняковый щебень, который предварительно дробили на щековой лабораторной дробилке до получения фракции 0-5 мм и высушивали до постоянной массы при температуре 105°.

Для приготовления активных добавок использовали отходы каучука (К) Воронежского завода СК им.С.М.Кирова, полимеры бензольного отделения (ПБО) и каменноугольную смолу (КУС) Новолипецкого металлургического завода. Активные добавки готовили в виде композиций "каучук+КУС" и "каучук+ПБО" при соотношении компонентов 1:1. Каучуковую крошку перемешивали в течение 2-3 минут с предварительно разогретыми до температуры 40-60° ПБО и КУС. При этом следили за тем, чтобы частицы каучука были покрыты слоем ПБО и КУС.

После подготовки материалов известняк фракции 0-5 мм и активные добавки загружали в шаровую мельницу типа МБЛ-1 для приготовления активированного минерального порошка. Активные добавки вводили в количестве 1; 1,5; 2; 2,5; и 3% от массы известняка. Для получения сопоставимых результатов влияния активированных минеральных порошков на свойства асфальтобетонных смесей помол продолжали до получения приблизительно одинакового зернового соста-

ва порошков, который определяли по содержанию фракции менее 0,071 мм.

Результаты испытаний активированных минеральных порошков (табл.1) свидетельствуют о том, что их свойства соответствуют требованиям ГОСТ 16557-71.

Таблица 1

Свойства испытанных активированных минеральных порошков

Марка порошка	Активирующая добавка	Количество добавки, % по массе	Содержание частиц, % от массы		Пористость, % по объему	Набухание, % по объему	Показатели битумоемкости, г/100 см^3
			0,315 мм	0,071 мм			
НА	-	-	95	93	32	2,1	58
А1	К + КУС	1,0	95	93	29	1,0	46
	К + ПБО		96	92	30	1,4	50
А 1,5	-"-	1,5	97	93	25	0,8	44
			95	98	29	1,2	47
А2	-"-	2,0	96	92	28	0,5	40
			96	93	27	0,9	45
А2,5	-"-	2,5	95	92	28	0,8	44
			97	94	24	0,7	43
А3	-"-	3,0	97	92	22	0,8	47
			96	93	24	0,7	42

Примечание. НА - неактивированный минеральный порошок, А1, А1,5, А2, ... - порошок, активированный добавкой в количестве 1; 1,5; 2, ... процентов.

С целью исследования влияния минерального порошка на свойства асфальтобетона были изготовлены и испытаны опытные образцы из песчаных асфальтобетонных смесей. Для приготовления смесей использовали фракцию 0-5 мм отходов камнедробления Павловского гранитного карьера, речной донской песок, нефтяной дорожный битум БНД-60/90, известняковый минеральный порошок, минеральные порошки, активированные добавками "К + КУС" и "К + ПБО". Асфальтобетонные смеси имели следующий состав (% по массе): гранитные отходы - 65, песок - 25, минеральный порошок - 10, битум - 6. Образцы изготовляли и испытывали в соответствии с требованиями ГОСТ 12801-71.

Все образцы асфальтобетонных смесей на активированных минеральных порошках выдержали 25 циклов попеременного замораживания-оттаивания.

Таблица 2

Физико-механические свойства испытанных образцов из асфальтобетонов

Марка порошка	Объемная масса, г/см^3	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре (°С)			Прочность на растяжение, МПа, при 0°	Коэффициент водоустойчивости
				20	50	0		
НА	2,30	5,53	0,34	3,66	1,15	11,8	1,75	0,87
А1	2,35	2,70	0,10	4,64	1,14	10,7	1,81	1,00
	2,35	3,56	0,00	5,14	1,42	10,8	1,84	1,01
А1,5	2,37	2,04	0,08	4,57	1,25	10,8	2,24	1,08
	2,39	2,10	0,00	4,97	1,76	10,0	2,36	1,11
А2	2,36	1,62	0,10	4,93	1,46	10,2	2,16	1,18
	2,37	2,03	0,00	5,83	1,55	10,3	2,29	1,08
А2,5	2,37	1,60	0,12	4,82	1,32	9,5	1,88	1,18
	2,34	1,00	0,00	5,75	1,49	10,9	2,03	1,05
А3	2,37	1,58	0,15	3,58	1,2	8,3	1,75	1,02
	2,36	0,94	0,00	4,66	1,42	9,8	1,97	1,08

Данные испытаний показывают (табл. 2), что применение активированных минеральных порошков значительно улучшает структурно-механические свойства смесей: они становятся плотнее, тепло- и водоустойчивее, прочность на растяжение при 0° у них повышается. Для приготовления песчаных асфальтобетонных смесей на минеральных порошках, активированных смесями "каучук + КУС" и "каучук + ПБО", требуется меньший (на 10-15°) расход битума.

При размоле известняка в присутствии активированных минеральных порошков происходит наращивание молекул эластомера на поверхность минерального материала за счет механохимических процессов. Каменноугольная смола и полимеры бензольного отделения служат в данном случае поверхностно-активными веществами, которые, с одной стороны, активируют химические процессы взаимодействия образующихся поверхностей минерального материала с эластомером, с другой - сами выступают в роли модификатора.

Применение указанных отходов для активации минеральных порошков наряду с улучшением структурно-механических свойств асфальто-

бетона позволяет снизить его стоимость, утилизировать отходы химического производства и расширить базу активных добавок для приготовления активированных минеральных порошков.

Литература

1. Барановский А.С. Асфальтобетонные покрытия с активированным минеральным порошком, приготовленным с использованием отходов Омского завода СК. - В кн.: Строительство асфальтобетонных покрытий с применением активированных минеральных материалов. М., 1978.

2. Гезенцвей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. М., 1971.

3. Гезенцвей Л.Б. Применение активированных минеральных материалов в дорожных асфальтобетона. - В кн.: Строительство асфальтобетонных покрытий с применением активированных минеральных материалов. М., 1978.

4. Гофман Л.М., Слепая Б.М. Применение полимеров - эффективный путь повышения качества асфальтобетонных покрытий. - Материалы 6-го Всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве. М., 1976.

5. Тарасенко Л.П. Использование отходов промышленности в строительстве сельских дорог. М., 1973.

УДК 661.431

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАСТВОРОВ ГИПОХЛОРИТА КАЛЬЦИЯ НА АНТИКОРРОЗИОННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ БИТУМНОЙ ПЛЕНКИ

Б.Ф.Соколов, Н.В.Лебедева

Воронежский инженерно-строительный институт

В соответствии с новой технологией приготовления асфальтобетонной смеси на основе гудрона [1,2] водные растворы гипохлорита кальция, являющиеся отходами хлорных и хлорперерабатывающих предприятий, используются в качестве инициатора процесса. Пульпа гипохлорита кальция, получаемая из электролитического хлора или абсорбционных газов производства хлора и абсорбционных газов хлорпотребляющих производств поглощением его известковым молоком, со-

держит от 7 до 12% "активного хлора" и обладает значительной коррозионной активностью. В связи с этим приобретают важное значение вопросы защиты оборудования асфальтобетонных заводов от действия хлора, а также сохранности первоначальной активности пульпы, используемой в качестве инициатора процесса. Применение для антикоррозионной защиты металлических поверхностей дорогостоящей нержавеющей стали или гуммирование нецелесообразны по технико-экономическим соображениям. Было сделано предположение о возможности использования в этих целях битумной пленки.

Задача состояла в исследовании коррозионного воздействия пульпы гипохлорита кальция на открытую и защищенную битумной пленкой поверхность стали при температуре от 30 до 60°. Этот интервал температур выбран с учетом возможного нагрева стенок ревервуаров в результате хранения пульпы в емкостях, незащищенных от солнечного воздействия. Интенсивность коррозионного воздействия пульпы гипохлорита кальция на незащищенную и покрытую битумом поверхность металлических пластин определяли по изменению содержания "активного хлора" (ГОСТ 11086-76).

В термостаты с температурой 30,40,50,60°помещали одинаковые стеклянные колбы с пульпой гипохлорита кальция. В одну из колб опускали стальную пластину размером 5х25х35 мм с незащищенной поверхностью, в другую - с поверхностью, покрытой битумной пленкой. После 20-часового температурного воздействия исследовали содержание "активного хлора" в пульпе.

В опытах с пластинами, имеющими незащищенную поверхность, наблюдалось резкое снижение содержания в пульпе „активного хлора" при увеличении температуры термостатирования (рис. 1). В связи с тем, что существенной десорбции хлора из пульпы через пробки колб не происходило, было предположено, что снижение его содержания вызвано коррозионным воздействием пульпы на открытую поверхность стальной пластины. Совершенно иным оказалось изменение количества "активного хлора" в пульпе в опытах с пластинами, покрытыми битумной пленкой. Хотя в этом случае также наблюдалось некоторое снижение количества "активного хлора" в пульпе, однако покрытие из битумной пленки более чем в 2 раза замедляло этот процесс.

С целью определения способности битумной пленки противостоять коррозионному действию пульпы гипохлорита кальция в течение более длительного времени, были проведены эксперименты по выдерживанию стальных пластин размером 5х25х35 мм с незащищенной и защищенной битумом поверхностью в колбах с пульпой в течение 18 суток при

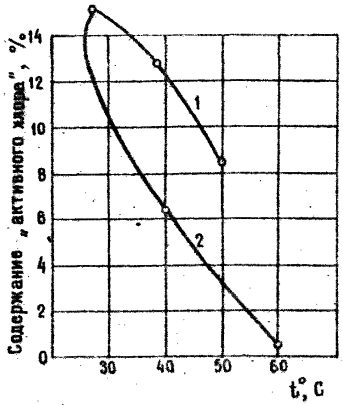


Рис.1. Зависимость содержания "активного хлора" в пульпе от температуры поверхности пластин: 1 - с битумной пленкой; 2 - без пленки

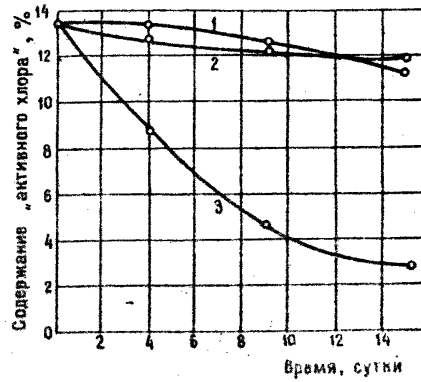


Рис.2. Зависимость содержания "активного хлора" в пульпе от времени при температуре 50°: 1 - с пластиной, покрытой битумной пленкой; 2 - без пластины; 3 - с пластиной без покрытия

температуре 30, 40, 50, 60°. Для сравнения в те же термостаты, где находились эти колбы, помещали колбы с пульпой, без пластин. Для образования пленки брали битум, приготовленный с применением пульпы гипохлорита кальция, который имел следующие характеристики: температура размягчения 76°, пенетрация при 25° - 25 дмм.

На рис.2 предоставлено изменение содержания "активного хлора" во времени при 30°. Кривая падения содержания "активного хлора" в пульпе без пластин почти полностью совпадает с кривой снижения количества "активного хлора" в пульпе со стальными пластинами, покрытыми битумной пленкой. При этом скорость падения содержания "активного хлора" в пульпе с пластинами, имеющими открытую поверхность, во много раз превышает скорость падения содержания "активного хлора" в пульпе с пластинами, покрытыми битумом. За 13 суток термостатирования в пульпе с пластинами, покрытыми битумной пленкой, содержание "активного хлора" понизилось всего на 15,4% от первоначальной величины, в пульпе с незащищенными пластинами за это же время содержание "активного хлора" уменьшилось на 77%. На основании этого можно сделать вывод, что при температуре 30° взаимодействие стальных пластин, покрытых битумной пленкой, с раствором гипохлорита кальция почти полностью отсутствует. Уменьшение содержания "активного хлора" в пульпе происходит при этом, очевидно, за счет лишь незначительного распада гипохлорита под действием

температуры. То же самое прослеживается при температуре 40° (рис.3).

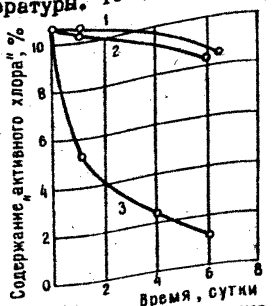


Рис.3. Зависимость содержания "активного хлора" в пульпе от времени при температуре 40°:
1 - с пластиной, покрытой битумной пленкой; 2 - без пластины; 3 - с пластиной без покрытия

Несколько иная картина наблюдалась при 50 и 60° (рис.4,5).



Рис.4. Зависимость содержания "активного хлора" в пульпе от времени при температуре 50°:
1 - без пластины; 2 - с пластиной, покрытой битумной пленкой; 3 - с пластиной без покрытия

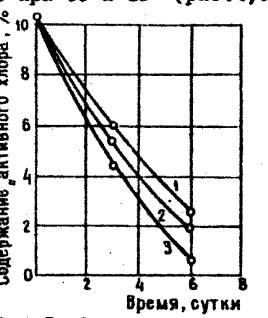


Рис.5. Зависимость содержания "активного хлора" в пульпе от времени при температуре 60°:
1 - без пластины; 2 - с пластиной, покрытой битумной пленкой; 3 - с пластиной без покрытия

При 50° происходило более резкое падение содержания "активного хлора", связанное с ускорением химических процессов при увеличении температуры. При 60° скорость химических процессов еще более увеличивалась, происходили, по-видимому, ускоренное разложение гипохлорита кальция и десорбция хлора из водного раствора, так как аналогичное падение содержания "активного хлора" наблюдалось и в исходной пульпе.

Таким образом, битумная пленка является антикоррозионной защитой для стальных поверхностей, соприкасающихся с пульпой гипохлорита кальция. Антикоррозионная защита стальной поверхности битумом

наиболее эффективна с учетом сохранения активности пульпы при температуре до 40^{0}.

Литература

1. А.с. 562533 (СССР).

2. Соколов Б.Ф. Влияние технологических факторов на процесс приготовления битумоминеральной смеси на основе гудрона. - Материалы 6-го Всесоюз.совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве. М.,1976, вып.4.

УДК 625.855.8.001.5

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК БУТАДИЕНОВОГО КАУЧУКА НА СДВИГО- И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В.И.Микрин, В.П.Лаврухин

Воронежский инженерно-строительный институт

Асфальтобетонные покрытия склонны к массовым разрушениям, среди которых преобладают трещины (до 60% дефектов) и сдвиговые деформации (до 30%) [8]. Поэтому вопросы повышения их трещиностойкости и сдвигоустойчивости имеют актуальное значение.

Для создания трещино- и сдвигостойких покрытий применяют высококачественные вяжущие, активированные минеральные порошки, резиновую крошку и полимерные материалы [6]. Радикальное решение вопроса комплексного улучшения свойств асфальтобетонных покрытий может быть обеспечено применением полимерных материалов [5].

Нами исследовано влияние добавок некондиционного бутадиенового каучука Ефремовского завода СК на трещиностойкость и сдвигоустойчивость асфальтобетонных покрытий. В состав асфальтобетонных покрытий входили дробленый песок (гранит) фракции 0-10 мм, обидимский известняковый минеральный порошок, битум БНД-60/90 Киришского нефтеперерабатывающего завода и битумнокаучуковое вяжущее, полученное компаундированием указанного битума и 25%-ного раствора каучукового материала в осветительном керосине. Компаундирование компонентов при приготовлении вяжущего вели в мешалке рамного типа при 180^{0} и скорости вращения вала 200 об/мин в течение 1 часа.

Количество добавки составляло 2% по массе в пересчете на каучук.

Битум БНД-60/90 имел следующий групповой состав (определен адсорбционно-хроматографическим анализом), % : углеводороды - 49,8, в том числе парафино-нафтеновые (ПН) - 11, легкие ароматические (МЦА) - 15,2, средние ароматические (БЦА) - 18,9, тяжелые ароматические (ПЦА) - 4,7; смолы - 28,6, в том числе петролейно-бензольные (ПБС) - 11,6, спирто-бензольные (СБС) - 17; асфальтены - 21,5, $\frac{А + С}{У}$ - 1,007, $\frac{А}{С + У}$ - 0,274, $\frac{С}{М}$ - 0,575.

Свойства исходного битума и битумнокаучукового вяжущего приведены в табл.I.

Асфальтобетонные смеси готовили при температуре 150°, после чего образцы ($d = h = 50,5$ мм) уплотняли на гидравлическом прессе стандартной нагрузкой 40 МПа в течение 3 минут.

Для изучения реологических свойств и критериев трещино- и сдвигоустойчивости асфальтобетона в широкой области состава был проведен эксперимент на симплексе с выделением локальной зоны [1,9]. Локальную область выбирали на основе априорных данных (рис.1). Поскольку априорных данных о поверхности отклика при описании такой широкой области состава не было, экспериментальные точки назначали таким образом, чтобы исследуемые свойства могли быть аппроксимированы полиномами третьего порядка. Контрольные точки выбирали так, чтобы при необходимости они могли быть использованы для повышения порядка аппроксимирующего полинома. План эксперимента представлен в табл. 2.

Переход от псевдокомпонентов z_i к исходным компонентам производили по формуле:

$$x_i = x_{i1} + k_2(x_{i2} - x_{i1}) + k_3(x_{i3} - x_{i1}) + \ldots + k_q(x_{iq} - x_{i1}),$$

где x_{ij} - содержание i-го компонента в смеси, которой соответствует вершина z_j; k_1, ..., k_q - содержание псевдокомпонентов z_1, ..., z_q в смеси.

Определение реологических свойств (времени релаксации Θ, времени ретардации τ, модуля упругости E) асфальтобетона и отношения его кинетических характеристик производили при температуре 50 и -10° и скорости холостого хода поршня пресса 8 мм/мин по методике, изложенной в [2,3]. Подсчет значений Θ, τ, E для образцов $d = h = 50,5$ мм выполняли по формулам

Таблица 1

Свойства битума БНД-60/90 и битумнокаучукового вяжущего

Показатели	Битум БНД-60/90	БКВ
Глубина проникания иглы при +25°, дмм	65	96
То же, при 0°, дмм	20	47
Температура размягчения, °С	52	50
Растяжимость при 25°, см	Более 100	69
То же при 0°	3,6	6,4
Температура хрупкости, °С	- 16	-30
Индекс пенетрации	- 0,1	+0,55
Количественный показатель сцепления с мрамором, %	86,8	92,2
Эластичность, %	26,2	47,5
Свойства остатка после прогрева в течение 5 часов при 160°		
Глубина проникания иглы при 25°, дмм	58	82
То же, % от первоначальной	89,5	85,5
Глубина проникания иглы при 0°, дмм	16	31
Потеря массы, %	0,08	0,74
Свойства остатка после прогрева в течение 5 часов при 160° в тонком (3,8 мм) слое:		
Температура размягчения, °С	57	61,5
Глубина проникания иглы при 25°, дмм	39	43
То же, при 0°	15	17
Растяжимость при 25°, см	31	15,5
То же при 0°	2,8	4,4
Эластичность, %		68,2

Примечание. Количественный показатель сцепления вяжущего с мрамором определяли методом красителей по значению адсорбции метиленового голубого. Эластичность вычисляли по формуле

$$Э = \frac{(Д_{25} + 3) - l_1}{Д_{25} + 3} \cdot 100\% ,$$

где $Д_{25}$ - растяжимость, см; l_1 - сумма длины двух частей образца по последнему замеру, см, в соответствии с [7].

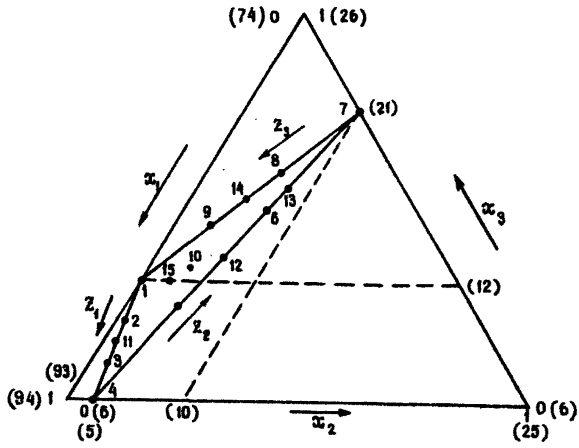


Рис. 1. Симплекс-план эксперимента

$$\theta = 2{,}02 \cdot 10^{3} \frac{\Delta h^2}{\Delta d^2}, \text{ с}; \quad \tau = 198\,\Delta d, \text{ с}; \quad E = \frac{5R}{\Delta h}, \text{ МПа},$$

где Δh, Δd - изменение соответственно высоты и диаметра образца при испытании на сжатие, см; R - предел прочности образца при сжатии, МПа.

Отношение кинетических характеристик определяли по формуле

$$\rho_1 / \rho_2 = \frac{\tau}{4\theta}.$$

В каждой точке плана ставили четыре параллельных опыта (т.е. определение вели по четырем образцам). Оценку результатов проводили по t - критерию Стьюдента, после чего подсчитывали среднеарифметическое $\bar{y}$ и оценку дисперсии S^2:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i}^{n} y_i}{n}; \qquad S^2 = \frac{\sum_{i}^{n} (y_i - \bar{y})^2}{f},$$

где y_i - i-тый результат в каждой точке; n - число опытов, $f = n - 1$ - число степеней свободы дисперсии.

Однородность выборочных дисперсий проверяли по G - критерию Кохрена, для чего составляли отношение максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий $G = \frac{S^2_{max}}{\sum_{i}^{n} S_i^2}$, которые сравнивали с табличным значением $G^{табл}_{1-p(f_1, f_2)}$, где $f_1 = n - 1 = 3$; $f_2 = N$.

Таблица 2

План эксперимента на симплексе

Псевдокомпоненты, доли			Натуральные компоненты						Процент вяжущего в смеси
			доли			%			
z_1	z_2	z_3	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3	
0	0	1	0,700	0,000	0,300	88,0	5,0	12,0	5,00
0,33	0	0,67	0,783	0,017	0,200	89,7	5,3	10,0	5,35
0,67	0	0,33	0,867	0,033	0,100	91,3	5,7	8,0	5,70
1	0	0	0,950	0,050	0,000	93,0	6,0	6,0	6,06
0,67	0,33	0	0,633	0,117	0,250	86,7	7,3	11,0	7,51
0,33	0,67	0	0,317	0,183	0,500	80,3	8,7	16,0	9,00
0	1	0	0	0,250	0,750	74,0	10,0	21,0	10,53
0	0,67	0,33	0,233	0,167	0,600	78,7	8,3	18,0	8,62
0	0,33	0,67	0,467	0,083	0,450	83,3	6,7	15,0	6,78
0,33	0,33	0,33	0,550	0,100	0,350	85,0	7,0	13,0	7,14
0,50	0	0,50	0,825	0,025	0,150	90,5	5,5	9,0	5,53
0,50	0,50	0	0,475	0,150	0,375	83,5	8,0	13,5	8,25
0,25	0,75	0	0,238	0,200	0,562	78,8	9,0	17,2	9,38
0	0,50	0,50	0,350	0,125	0,525	81,0	7,5	16,5	7,69
0,25	0,25	0,50	0,588	0,075	0,338	85,8	6,5	12,7	6,60

Примечание. x_1X_1 - песок; x_2X_2 - вяжущее; x_3X_3 - минеральный порошок

По данным табл. 3 и 4 были рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии. Модели искали в виде квадратичного полинома $\hat{y} = \sum \beta_i z_i + + \sum \beta_{ij} z_i z_j$, где $\beta_i = \hat{y}_i$; $\beta_{ij} = 4\hat{y}_{ij} - 2\hat{y}_i - 2\hat{y}_j$, где $\hat{y}_i, \hat{y}_j, \hat{y}_{ij}$ - наблюденные значения функции, определенные по методу Шеффе. Выбор квадратичного полинома был обусловлен тем, что пробный расчет показал адекватность моделей 2-го порядка; повышение порядка модели привело к появлению "шума" эксперимента.

Уравнения регрессии имеют вид: для R_{50} (образцы на битуме):

$$R_{50} = 1,26 z_1 + 0,99 z_2 + 2,04 z_3 + 2,22 z_1 z_2 + 2,26 z_2 z_3 ;$$

то же, на битумнокаучуковом вяжущем:

$$R_{50} = 1,74 z_1 + 1,05 z_2 + 1,96 z_3 + 1,78 z_1 z_2 + 0,48 z_1 z_3 + 1,84 z_2 z_3 ;$$

для R_{-10} (образцы на битуме):

$$\hat{R}_{-10} = 15,6 z_1 + 8,8 z_2 + 18,9 z_3 + 13,2 z_1 z_2 + 9,0 z_2 z_3 ,$$

то же, на битумнокаучуковом вяжущем:

$$\hat{R}_{-10} = 12,3 z_1 + 7,4 z_2 + 12,3 z_3 + 8,6 z_1 z_2 + 6,6 z_1 z_3 + 9,4 z_2 z_3 ;$$

для $(\hat{P_1/P_2})$ при 50^0 (образцы на битуме)

$$(\hat{P_1/P_2})_{+50} = 0,0080 z_1 + 0,0150 z_2 + 0,0072 z_3 - 0,0260 z_1 z_2 - 0,0044 z_1 z_3 - 0,0288 z_2 z_3 ,$$

то же, на битумнокаучуковом вяжущем:

$$(\hat{P_1/P_2})_{+50} = 0,0068 z_1 + 0,0080 z_2 + 0,0057 z_3 - 0,0182 z_1 z_2 - 0,0072 z_2 z_3 - 0,0138 z_2 z_3 ;$$

для P_1/P_2 при -10^0 (образцы на битуме):

$$(\hat{P_1/P_2})_{-10} = 0,00049 z_1 + 0,00006 z_2 + 0,00083 z_3 - 0,00012 z_1 z_2 + 0,00009 z_1 z_3 - 0,00016 z_2 z_3 ;$$

то же, на битумнокаучуковом вяжущем:

$$(\hat{P_1/P_2})_{-10} = 0,00098 z_1 + 0,00016 z_2 + 0,00079 z_3 - 0,00010 z_1 z_2 + 0,00054 z_2 z_3 .$$

Значимость коэффициентов регрессии проверяли по t - критерию Стьюдента:

$$t_p = \frac{|b_i|}{S b_i} , \text{ где } S b_j = \sqrt{2 S^2_{воспр}} .$$

Таблица 3

Результаты испытаний асфальтобетонных смесей на вяжущих БНД-60/90 и БНВ (при 50°)

Номера точек	На битуме				На битумнокаучуковом вяжущем			
	предел прочности при сжатии, МПа		отношение кинетических характеристик		предела прочности при сжатии, МПа		отношение кинетических характеристик	
	$\bar{R}_{50}$	эмпирическая дисперсия S^2	$(\bar{R}_1/\bar{R}_2)_{+50} \cdot 10^3$	эмпирическая дисперсия S^2	$\bar{R}_{50}$	эмпирическая дисперсия S^2	$(\bar{R}_1/\bar{R}_2)_{+50} \cdot 10^3$	эмпирическая дисперсия S^2
1	2,04	0,065	7,2	0,21	1,96	0,150	5,7	0,14
2	1,78	0,184	6,8	0,13	2,05	0,205	4,3	0,17
3	1,50	0,063	7,0	0,08	1,79	0,032	4,7	0,11
4	1,26	0,045	8,0	0,10	1,74	0,142	6,3	0,05
5	1,74	0,035	4,5	0,07	1,99	0,280	2,6	0,08
6	1,48	0,018	6,9	0,05	1,86	0,067	3,1	0,08
7	0,99	0,012	15,0	0,05	1,05	0,012	8,0	0,14
8	1,77	0,042	6,3	0,11	1,50	0,008	4,1	0,11
9	2,17	0,118	3,2	0,20	1,94	0,063	3,7	0,09
10	1,98	0,083	3,8	0,17	1,92	0,257	2,3	0,06
11	1,65	0,067	6,5	0,14	1,97	0,122	4,3	0,12
12	1,68	0,011	5,0	0,25	1,84	0,084	2,6	0,21
13	1,34	0,023	8,8	0,28	1,34	0,023	4,0	0,15
14	1,88	0,021	3,9	0,04	1,84	0,048	3,4	0,13
15	2,05	0,086	3,9	0,11	1,95	0,172	2,8	0,08
	$\Sigma = 0,823$			$\Sigma = 1,99$	$\Sigma = 1,660$			$\Sigma = 1,67$
	$C_{ip} = 0,224$			$C_{ip} = 0,141$	$C_{ip} = 0,269$			$C_{ip} = 0,126$
	$C_T = 0,276$			$C_T = 0,276$	$C_T = 0,276$			$C_T = 0,276$
	$S^2_{восп} = 0,0549$			$S^2_{восп} = 0,133$	$S^2_{восп} = 0,0107$			$S^2_{восп} = 0,111$
	$S_{восп} = 0,0741$			$S_{восп} = 0,364$	$S_{восп} = 0,1052$			$S_{восп} = 0,334$

Таблица 4

Результаты испытаний асфальтобетонных смесей на вяжущих БНД-60/90 и БКВ
(при -10^0)

Номера точек	На битуме				На битумнокаучуковом вяжущем			
	предел прочности при сжатии, МПа		отношение кинетических характеристик		предел прочности при сжатии, МПа		отношение кинетических характеристик	
	$\bar{R}_{-10}$	эмпирическая дисперсия S^2	$(P_1/P_2)_{-10}\cdot 10^8$	эмпирическая дисперсия S^2	$\bar{R}_{-10}$	эмпирическая дисперсия S^2	$(P_1/P_2)_{-10}\cdot 10^4$	эмпирическая дисперсия S^2
1	18,9	5,50	3,3	0,14	12,8	4,50	7,9	0,07
2	18,7	1,30	3,6	0,18	11,9	12,10	8,4	0,14
3	18,8	4,70	4,8	0,05	11,8	18,70	8,9	0,09
4	15,6	21,67	4,9	0,10	12,3	0,83	9,3	0,12
5	16,3	2,27	3,2	0,12	13,6	11,40	6,4	0,18
6	12,5	11,03	1,8	0,04	11,9	7,70	4,0	0,21
7	8,8	6,20	0,6	0,01	7,4	11,30	1,6	0,11
8	11,9	4,23	1,1	0,17	9,9	2,37	4,9	0,06
9	15,0	6,87	2,2	0,14	14,1	6,83	4,5	0,18
10	13,5	6,47	2,8	0,12	13,6	2,17	9,3	0,21
11	15,0	6,87	4,3	0,07	11,4	8,03	8,6	0,09
12	15,5	2,47	2,5	0,15	12,0	7,00	5,2	0,18
13	13,0	16,83	1,5	0,19	10,8	1,30	3,5	0,22
14	13,6	17,47	1,9	0,22	12,2	13,10	6,1	0,27
15	16,2	11,90	3,2	0,13	13,4	2,80	7,4	0,08
	$\sum$ =125,78		$\sum$ =1,83		$\sum$ =99,96		$\sum$ =2,16	
	G_P =0,172		G_P =0,120		G_P =0,187		G_P =0,125	
	G_T =0,276		G_T =0,276		G_T =0,276		G_T =0,276	
	$S^2_{восп}$ =8,88		$S^2_{восп}$ =0,122		$S^2_{восп}$ =6,66		$S^2_{восп}$ =0,276	
	$S_{восп}$ =0,916		$S_{восп}$ =0,349		$S_{восп}$ =0,816		$S_{восп}$ =0,379	

Адекватность моделей проверяли по остальным точкам симплекса (пример проверки адекватности приведен в табл. 5).

Таблица 5

Проверка адекватности модели для R_{50} (асфальтобетон на битуме)

Номера точек плана	$(\bar{R}_{50})_{расч}$	$(\bar{R}_{50})_{эксп}$	$\lvert\Delta\bar{R}_{50}\rvert$	ε	t_p
2	1,78	1,78	0	0,840	0
3	1,52	1,50	0,02	0,840	0,398
5	1,78	1,74	0,01	0,840	0,199
6	1,54	1,48	0,06	0,840	1,194
8	1,84	1,77	0,07	0,840	1,393
9	2,19	2,17	0,02	0,840	0,398
10	1,98	1,98	0,05	0,680	1,055
13	1,37	1,34	0,03	0,700	0,621
15	1,97	2,05	0,08	0,600	1,704

Примечание. Значения параметра ε_2 принимаются по контурной карте для модели второго порядка [9].

По уравнениям регрессии были подсчитаны значения функций в дополнительных точках симплекса.

Установлено существенное расширение области сдвигоустойчивых смесей при использовании битума, модифицированного дивиниловым эластомером, хотя его прочностные показатели оставались почти без изменений. Область наивысшей прочности при 50° смещалась в сторону снижения содержания минерального порошка примерно при том же содержании вяжущего (рис. 2). При -10° прочность образцов на битумнокаучуковом вяжущем существенно снижалась и значительно расширялась область трещиностойких смесей (рис. 3).

Расчетную долговечность асфальтобетонных покрытий на битуме и битумнокаучуковом вяжущем при температуре 50° определяли по формуле

$$\tau_{p(+)} = \left(\frac{2\theta+\tau}{P_1/P_2}\right)^{\frac{R_+}{4q}},$$

где q - удельное давление колеса, равное 0,6 МПа (для автомобилей группы А) [4]. Для смеси на битуме

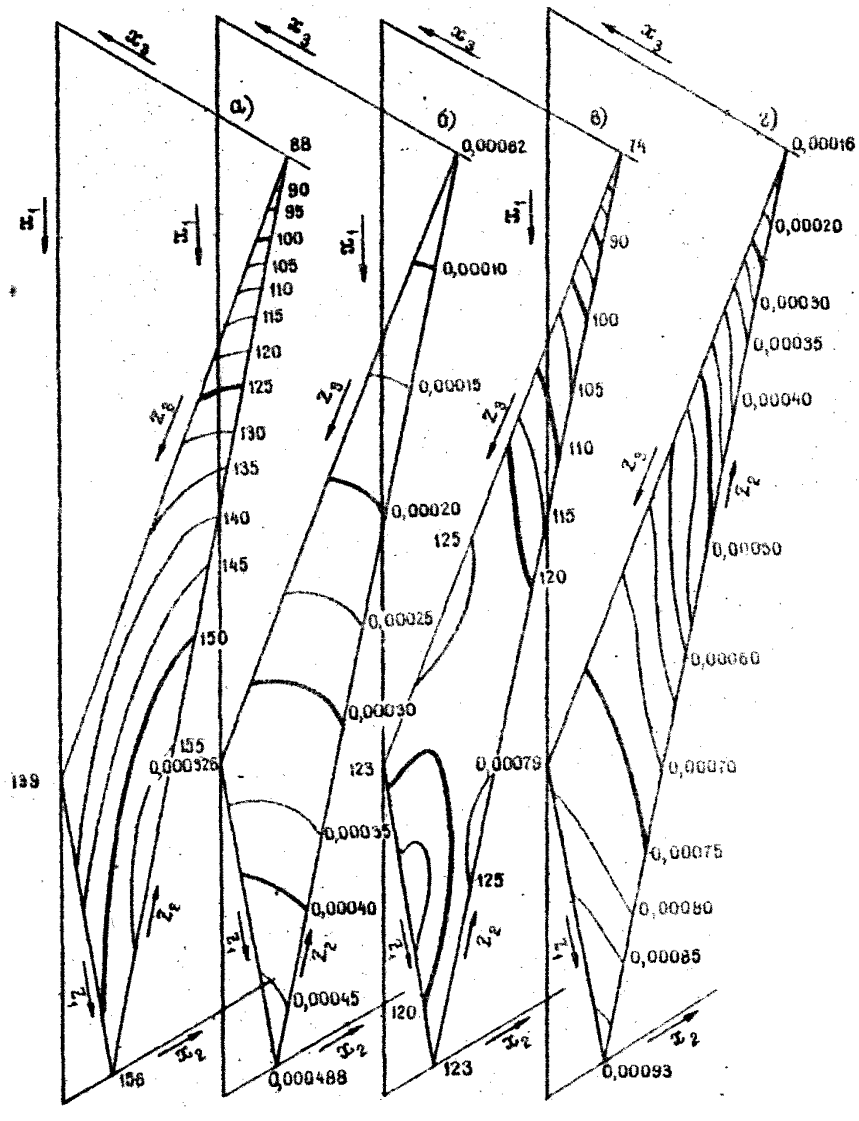


Рис.2. Прочностные (а,в) и деформативные (б,г) характеристики асфальтового бетона на битуме (а,б) и битумнокаучуковом вяжущем (в,г) при температуре 50^{0}

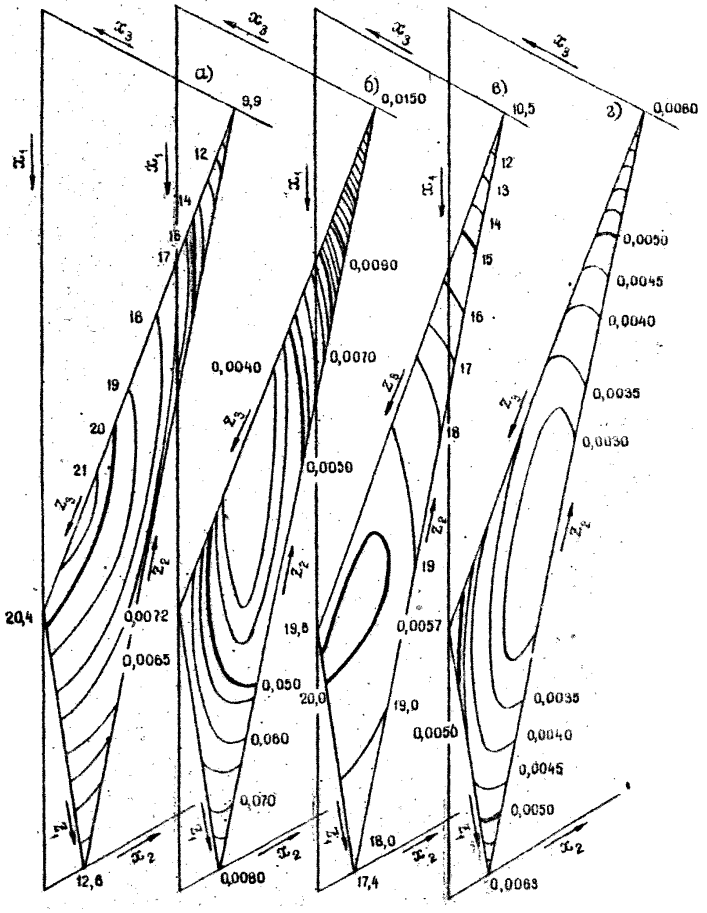


Рис.3. Прочностные (а,в) и деформативные (б,г) характеристики асфальтового бетона на битуме (а,б) и битумнокаучуковом вяжущем (в,г) при температуре - 10^{0}

$$\tau_{P(+)} = \left(\frac{2 \cdot 1100 + 16}{0{,}0036}\right)^{\frac{1{,}97}{4 \cdot 0{,}6}} = (61{,}5 \cdot 10^4)^{0{,}808} = 47{,}6 \cdot 10^3 \text{ с}.$$

Для смеси на битумнокаучуковом вяжущем

$$\tau_{P(+)} = \left(\frac{2 \cdot 2850 + 31}{0{,}0027}\right)^{\frac{2{,}02}{4 \cdot 0{,}6}} = (212{,}3 \cdot 10^4)^{0{,}842} = 212{,}5 \cdot 10^3 \text{ с}.$$

Таким образом, долговечность покрытия на битумнокаучуковом вяжущем при высокой температуре при прочих равных условиях в 4,5 раза выше, чем долговечность покрытия на битуме.

Долговечность асфальтобетонных покрытий при зимнем охлаждении находили по формуле

$$\tau_{P(-)} = \left(\frac{\Theta\tau}{2\Theta + \tau}\right)^{\frac{4R_{(-)}}{\sigma}},$$

где σ - температурное напряжение при охлаждении покрытия от несвободного сжатия, кг/см^2, $\sigma = 0{,}023E$ [10]. Для смеси на битуме

$$\tau_{P(-)} = \left(\frac{3600 \cdot 10{,}4}{2 \cdot 3600 + 10{,}4}\right)^{\frac{4 \cdot 15{,}6}{0{,}023 \cdot 720}} = 5{,}2^{3{,}77} = 500 \text{ с}.$$

Для смеси на битумнокаучуковом вяжущем

$$\tau_{P(-)} = \left(\frac{4050 \cdot 15{,}2}{2 \cdot 4050 + 15{,}2}\right)^{\frac{4 \cdot 12{,}8}{0{,}023 \cdot 590}} = 7{,}6^{3{,}77} = 2090 \text{ с},$$

т.е. долговечность покрытия из смеси на битумнокаучуковом вяжущем при зимнем охлаждении в 4 раза выше, чем покрытия из смеси на битуме.

Литература

1. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. М., 1978.

2. Богуславский А.М. Прогнозирование сдвиго- и трещиностойкости асфальтобетонных аэродромных покрытий. -Тр. Московского автодорожного института, М., 1978, вып. 57.

3. Богуславский А.М., Богуславский Л.А. Основы реологии асфальтобетона. М., 1972.

4. ВСН 46-72. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. М., 1973.

5. Гохман Л.М. Основные направления в строительстве асфальтобетонных покрытий с применением полимерно-битумных вяжущих. - Обзорная информация ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, вып. 9. М., 1975.

6. Дорожный асфальтобетон / Под ред. Л.Б.Гезенцвея. М., 1976.

7. Методические рекомендации по единым методам испытания полимерно-битумных вяжущих для дорожного строительства. М., 1978.

8. Михайлов В.В. Строительство асфальтобетонных покрытий в СССР. -Материалы симпозиума по структуре и структурообразованию в асфальтобетоне. М., 1968.

9. Чемлева Т.А., Мишина Н.Г. Применение симплекс-решетчатого планирования при исследовании диаграмм состав - свойство. - В кн.: Новые идеи в планировании эксперимента / Под ред. В.В.Налимова. М., 1969.

УДК 625.7.07

ШЛАКОВЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ПОКРЫТИЯ И СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ОТ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

С.И.Самодуров, Г.Л. Шапиро
Воронежский инженерно-строительный институт

Шлаки, в отличие от природных каменных материалов характеризуются высокой химической и гидравлической активностью, повышенной шероховатостью зерен, отсутствием шлифуемости, чувствительностью к влаге, вибрации, температуре, срастанием зерен в местах их контакта.

Битум в шлаковом асфальтобетоне почти полностью находится в структурированном состоянии. При контакте с водой в шлаковых материалах происходят процессы гидратации. При взаимодействии органического вяжущего с продуктами гидратации на разделе фаз образуется прочный адгезионный контакт, устойчивый к длительному воздействию воды

и сдвиговым усилиям. Битум в шлаковом асфальтобетоне в меньшей степени, чем в традиционном, подвержен синерезисным явлениям, что повышает безопасность движения автомобилей на дорогах в летнее время, когда температура воздуха достигает 30 и более градусов.

Коэффициент сцепления ($К_{сц}$) колеса со шлаковым асфальтобетонным покрытием достигает 0,54-0,68 и не уменьшается в процессе эксплуатации покрытия. Это объясняется тем, что шлаки под воздействием влаги гидратируются, и их поверхность модифицируется продуктами гидратации, благодаря чему первоначальная шероховатость сохраняется или даже несколько увеличивается. Экспериментально установлено, что коэффициент сцепления колеса автомобиля с граншлаковым, шлакопемзовым и шлакопесчаным асфальтобетонными покрытиями составляет 0,54-0,66, а со шлаковым асфальтобетонным покрытием на щебне из конверторного шлака достигает 0,68. Коэффициент сцепления шлакопемзового асфальтобетонного покрытия, построенного в 1970 г., при интенсивности движения до 10-12 тыс.автомобилей в сутки, составлял в 1973, 1974 и 1975 г. 0,63. Коэффициент сцепления граншлакового асфальтобетонного покрытия, построенного в 1972 г., при интенсивности движения до 2000 автомобилей в сутки равнялся в 1973 г. 0,54, в 1974 и 1976 гг.- 0,56. При таких стабильных значениях $К_{сц}$ на шлаковых асфальтобетонных покрытиях не требуется устройства поверхностных обработок.

Количество и тяжесть дорожно-транспортных происшествий связаны с понижением $К_{сц}$. Скользкость покрытия обусловливает до 16% дорожно-транспортных происшествий, а на отдельных дорогах в неблагоприятные периоды года - до 40-70% [I].

Повышение безопасности движения автомобилей достигается созданием шероховатых покрытий при строительстве дороги, а в дальнейшем, при ее эксплуатации, - периодическим устройством поверхностных обработок. Однако шероховатость на покрытии сохраняется в течение 18-24 месяцев эксплуатации дороги, а в последующие 3-4 года $К_{сц}$ покрытия снижается до 0,35-0,3, что не обеспечивает безопасность движения в сырую погоду и при гололеде.

Нами произведен расчет снижения потерь от дорожно-транспортных происшествий при движении автомобилей по шлаковому асфальтобетонному покрытию.

Ежегодные потери от дорожно-транспортных происшествий $П_t$ в любой год эксплуатации на дороге протяжением 1 км (ВСН 21-75, ВСН 3-69)

$$П_t = 3{,}65 \cdot 10^{-6}\ a_t c_{ri} m_i N_t\ ,$$

где a_{cpt} - количество дорожно-транспортных происшествий на 100 млн. авт.· км,

$$a_t = 0{,}009\ K_t^2 - 0{,}27\ K_t + 34{,}5,$$

где K_t - итоговый коэффициент аварийности, принимается по линейному графику коэффициентов аварийности (в наших расчетах $K_t > 20$);

C_{cpt} - средняя стоимость одного дорожно-транспортного происшествия; согласно ВСН 21-75, C_{cpt} в равные годы составляет:

Годы	1975	1980	1985	1990	1995	2000
$C_{cp.t}$, руб.	8260	8580	8900	4200	4520	4680

m_t - итоговый поправочный коэффициент, в котором учитывается тяжесть и особенности дорожно-транспортных происшествий, вызванных конкретными условиями; он равен произведению нескольких частных коэффициентов.

N_t - среднегодовая суточная интенсивность движения автомобилей в сутки для года.

Все частные коэффициенты, за исключением коэффициента m'_t, зависящего от $K_{сц}$, для шлакового и традиционного асфальтобетонного покрытий равны между собой. Различие m_t обусловлено только неодинаковым значением m'_t, и это различие будет иметь место в 8,4 и 5-й годы межремонтного срока, когда $K_{сц}$ шлакового асфальтобетонного покрытия выше, чем $K_{сц}$ традиционного покрытия.

Значения частного поправочного коэффициента m'_t зависят от $K_{сц}$. [1] (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость m'_t от $K_{сц}$ и состояния покрытия

Состояние покрытия	$K_{сц}$	m'_t	Состояние покрытия	$K_{сц}$	m'_t
Скользкое, грязное	0,2-0,3	2,5	Чистое, сухое	0,6	1,3
Скользкое	0,4	2	Шероховатое	0,7	1
			Очень шероховатое	0,75	0,75

Общие потери $П_{д.т.п.}$ за Т лет:

$$П_{д.т.п} = \sum_{1}^{T} \frac{П_t}{(1+E_{н.п})^t}$$

где $E_{н.п.}$ - коэффициент экономической эффективности при приведении затрат ($E_{н.п.} = 0{,}08$).

Если для шлакового асфальтобетонного покрытия $m_{ч.сц.}$ можно принять равным 1 в любой период эксплуатации, то для асфальтобетонного покрытия из смесей на природных минеральных компонентах $m_{ч.сц}$ равен 1 только в первые 1,5-2 года после производства ремонта или устройства поверхностной обработки, а в последующие 3,4 и 5-й годы эксплуатации покрытия он принимается равным 2-2,5.

Таким образом, экономическая эффективность снижения дорожно-транспортных происшествий $Э_{д.т.п.}$ может быть представлена как разница между потерями от дорожно-транспортных происшествий на асфальтобетонном из природных минеральных материалов $П'_{д.т.п.}$ и шлаковом асфальтобетонном покрытии $П''_{д.т.п.}$:

$$Э_{д.т.п.} = П'_{д.т.п} - П''_{д.т.п.} =$$

$$= \frac{Д_{в+г}}{100} \cdot 10^{-6} \cdot 3 \left(\sum_{n=1}^{6} \frac{C_{ср.t}\, a_t\, m'_t\, N_{tp}}{(1+E_{н.п.})^{tp}} \right) -$$

$$- \sum_{n=1}^{6} \frac{C_{ср.t}\, a_t\, m''_t\, N_{tp}}{(1+E_{н.п})^{tp}} \Bigg),$$

где $Д_{в+г}$ - количество дней в году, когда покрытие находится в мокром состоянии или покрыто гололедом;

n - номер межремонтного периода;

m'_t, m''_t - частные коэффициенты для традиционного и шлакового асфальтобетонного покрытия соответственно.

В каждом межремонтном периоде по восстановлению слоев шероховатости в качестве расчетных приняты 3,4 и 5-й годы; значения $C_{ср.t}$; a_t ; N_{tp} с некоторым пренебрежением приняты одинаковыми для каждого года. В формулу введен коэффициент 3, поскольку за весь срок службы покрытия (80 лет) количество межремонтных сроков равно 6.

Расчетные годы в соответствующем периоде принимаются как пока-

затель степени в коэффициенте приведения.

Стоимость потерь от дорожно-транспортных происшествий на I км пробега автомобиля в зависимости от $K_{сц}$ и интенсивности движения подсчитаны Ю.М. Ситниковым и О.А. Дивочкиным [2]. Эти данные с интерполяцией промежуточных значений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Потери от дорожно-транспортных происшествий, авт/км

Интенсивность движения, авт/сутки	$K_{сц}$					
	0,2	0,3	0,35	0,40	0,45	0,50
1000	0,02	0,015	0,011	0,01	0,008	0,005
2000	0,04	0,08	0,025	0,02	0,015	0,01
3000	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,015
4000	0,12	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03
5000	0,18	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04
6000	0,30	0,16	0,13	0,10	0,08	0,05
7000	0,48	0,22	0,18	0,12	0,09	0,06
8000	0,66	0,30	0,24	0,16	0,11	0,08
9000	0,85	0,36	0,30	0,20	0,13	0,10
10 000	1,05	0,44	0,36	0,24	0,15	0,13

Таким образом, приведенные потери от дорожно-транспортных происшествий в год на I км асфальтобетонного покрытия составляют 6765 руб., а на I км шлакового асфальтобетонного покрытия - 2037 руб., т.е. во втором случае потери от дорожно-транспортных происшествий меньше на 4728 руб.

Таблица 3

Потери на I км дороги от дорожно-транспортных происшествий, учтенных за 3 года

Межремонтный период, годы	Расчетный год в межремонтный период	Интенсивность движения в расчетном году, авт/сутки	Потери от дорожно-транспортных происшествий: авт./км	Потери от дорожно-транспортных происшествий: руб.	$\frac{I}{(I+E_{н.п})}$	Приведенные потери, руб.
I-5-й	4	3200	0,06 0,015	675 132	0,735	440 98
6-I0-й	9	4000	0,08 0,03	II30 430	0,500	565 215
II-I5-й	I4	5000	0,I2 0,04	2I40 720	0,340	720 244
I6-20-й	I9	6700	0,22 0,06	5300 I440	0,282	I420 400
2I-25-й	24	8500	0,36 0,I0	II200 3400	0,I58	I780 535
26-30-й	29	I0 700	0,44 0,I3	I6700 4900	0,I07	I840 545

Примечание. В числителе приводятся потери от дорожно-транспортных происшествий на асфальтобетонном покрытии при $Д_{в+г}$=I20 $К_{сц}$=0,3-0,35 и средней интенсивности движения в год окончания строительства дороги 2500 авт./сутки, в знаменателе - потери от дорожно-транспортных происшествий на шлаковом асфальтобетонном покрытии ($К_{сц}$=0,5).

Литература

1. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М., 1964.

2. Ситников Б.М., Дивочкин О.А. Стадийное улучшение транспортно-эксплуатационных качеств дорог. М., 1973.

УДК 625.752

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ОБРАЗЦОВ, НАТУРНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ И ЗАМОРАЖИВАНИЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА ИЗ ШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.С.Ковалев

Воронежский инженерно-строительный институт

Оптимальная структура асфальтобетона характеризуется не наивысшей, а минимально необходимой прочностью, которая обеспечивает достаточную деформативную способность при отрицательных температурах и требуемую коррозионную устойчивость [1], поэтому оптимальное содержание битума в асфальтобетонных смесях следует назначать с учетом их морозостойкости.

Определение оптимального содержания битума в асфальтобетонных смесях из шлаковых материалов без учета воздействия знакопеременных температур и с их учетом проводили с применением математического метода планирования экстремальных экспериментов. Были применены двухфакторный 9-точечный и трехфакторный 15-точечный D - оптимальный центральный композиционные ротатабельные планы второго порядка. Количество битума в смесях изменяли от 7 до 9 % (сверх 100% минеральной части), уплотняющую нагрузку при изготовлении образцов - от 10 до 50 МПа, количество циклов попеременного замораживания-оттаивания в лабораторных условиях - от 0 до 100.

Формирование покрытий из шлакоасфальтобетона продолжается длительное время с момента укладки под действием автомобильного транспорта. Объемная масса асфальтобетона из шлаковых материалов в начальный момент эксплуатации покрытия соответствует объемной массе образца, сформированного в лабораторных условиях уплотняющей нагрузкой 10-15 МПа, в последующем объемная масса покрытия достига-

ет объемной массы образца, уплотненного нагрузкой 25-30 МПа. Поэтому уплотняющая нагрузка вошла в план эксперимента независимой переменной.

Шлаковые материалы - хрупкие и высокопористые, при уплотнении которых происходит дробление зерен в наиболее ослабленных зонах при сравнительно высоких напряжениях. Это приводит к повышению среднестастической прочности шлаковых материалов за счет ликвидации дефектов структуры при их уплотнении и дроблении. Дробление зерен шлаковых материалов также приводит к увеличению их общей поверхности, при этом оптимальное содержание битума в шлаках изменяется в зависимости от уплотняющей нагрузки.

Для исследования были взяты гранулированный доменный шлак, шлаковый песок Новолипецкого металлургического завода и битум марки БНД-90/130 Новокуйбышевского нефтеперерабатывающего завода.

Методика испытания была следующей. Первую серию асфальтобетонных образцов испытывали в возрасте 2 суток с момента изготовления, вторую серию - в возрасте 360 суток и хранили в комнатных условиях в качестве эталонной для третьей серии образцов. Третью серию асфальтобетонных образцов в течение 360 суток выдерживали на открытом воздухе, где на них оказывали влияние осадки в виде дождя и снега, солнечная радиация и знакопеременные температуры. Четвертую серию асфальтобетонных образцов подвергали воздействию знакопеременных температур в водонасыщенном состоянии в лабораторных условиях. Замораживание до -20° продолжалось 6-7 часов, оттаивание - 17-18 часов в воде при температуре 15±20°.

Условия лабораторных испытаний асфальтобетона на морозостойкость более жесткие по сравнению с природными: образцы подвергаются замораживанию в водонасыщенном состоянии, скорость перепада температур очень высока и т.д. Поэтому А.П.Кузнецов [2] предлагает видоизмененную формулу С.В.Шестоперова для определения количества циклов попеременного замораживания-оттаивания:

$$N_{общ.} = N_{год}\, n\, K_1 K_2 K_3 K_4 , \qquad (1)$$

где $N_{год}$ - количество циклов замораживания-оттаивания за 1 год; n - расчетный срок службы покрытия, лет; K_1 - коэффициент запаса прочности; K_2 - коэффициент интенсивности движения; K_3 - коэффициент, характеризующий влияние среды при воздействии на покрытие замораживания; K_4 - коэффициент, позволяющий учитывать природные условия эксплуатации покрытия.

В центрально-черноземных областях количество переходов температуры воздуха через 0° в течение года доходит до 100, но не все эти переходы оказывают существенное влияние на асфальтобетон: он не успевает оттаять. Поэтому в формуле (1) параметр $N_{год}$ требует уточнения, так как неясно, какое количество переходов температуры через 0° следует принимать и какое количество этих переходов оказывает существенное влияние на структурно-механические свойства асфальтобетона. $N_{год}$ для асфальтобетона из шлаковых материалов не определялось никем.

Испытание четырех серий образцов, проведенное нами, позволило выявить:

1) влияние активности шлакового материала на морозостойкость асфальтобетона после натурного замораживания;

2) изменение структурно-механических свойств асфальтобетона во времени в результате замораживания-оттаивания в лабораторных условиях и в натурных;

3) влияние степени уплотнения и содержания битума на морозостойкость шлакоасфальтобетона;

4) коэффициент перехода от лабораторных циклов замораживания-оттаивания к натурному эксперименту.

Взаимосвязь лабораторных циклов замораживания-оттаивания с натурными устанавливали по степени разуплотнения асфальтобетона (по изменению пористости).

После проведения экспериментов определяли пределы прочности асфальтобетона при сжатии при температуре 20°, пористость (% объема) и водонасыщение (% объема). На основе результатов испытаний составлены уравнения регрессии, по которым построены графики (рис.1-3).

Анализируя рис. 1, можно выявить следующие закономерности. В возрасте 2 суток с момента изготовления асфальтобетон из шлаковых материалов имеет пики прочности, расположенные в интервале 9-10% содержания битума. Его прочность при сжатии в большей степени зависит от степени уплотнения, чем от содержания битума в смеси. Малая чувствительность шлаковых материалов к содержанию битума объясняется специфическим характером строения порового пространства: часть битума диффундирует в поры шлакового материала как фракционно, так и без изменения группового состава. Интенсивность нарастания прочности несколько снижается с увеличением уплотняющей нагрузки. Оп-

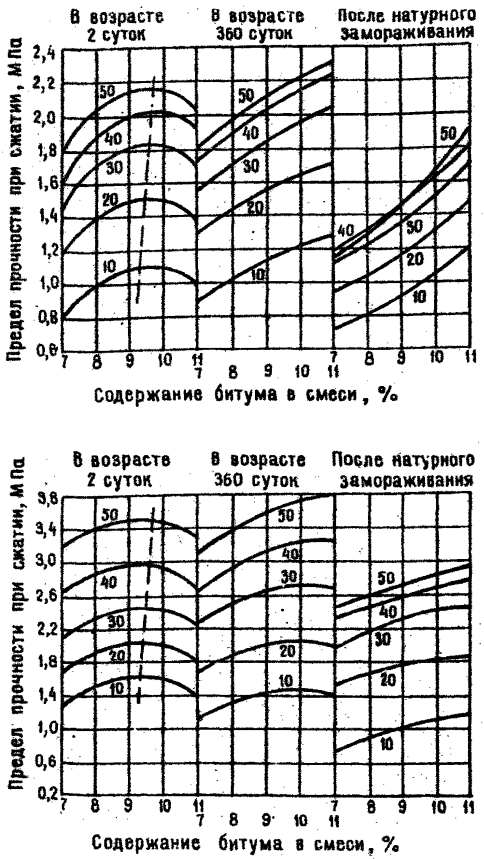


Рис.1. Изменение предела прочности при сжатии асфальтобетонных образцов из гранулированного доменного шлака (а) и шлакового песка НЛМЗ (б) при температуре 20° в зависимости от их возраста, уплотняющей нагрузки, содержания битума и натурного замораживания. Цифры на кривых - уплотняющая нагрузка, МПа, штриховые линии - линии наибольшей прочности

тимальное содержание битума в зависимости от степени уплотнения изменяется, что объясняется дроблением шлаковых материалов при уплотнении. Удельная поверхность частиц увеличивается, что, в свою очередь, требует дополнительного количества битума для создания битумной пленки оптимальной толщины. Прочность при сжатии асфальтобетона из шлакового песка выше, чем асфальтобетона из гранулированного шлака: это объясняется большим количеством остроугранных частиц в шлаковом песке, которые увеличивают угол внутреннего трения.

При испытании образцов асфальтобетона из шлаковых материалов в возрасте 360 суток с момента изготовления максимального (пикового) значения прочности не наблюдалось. Это подтверждает то, что процессы структурообразования в шлаковых материалах продолжаются длительное время и определяющую роль, по нашему мнению, в этих процессах играет как диффузия компонентов битума в поры шлакового материала, так и модификация поверхности шлака. Интенсивность нарастания прочности в зависимости от содержания битума у асфальтобетона из гранулированного шлака несколько выше, чем у асфальтобетона из шлакового песка, что объясняется большей активностью гранулированного шлака по сравнению со шлаковым песком. У асфальтобетона из шлакового песка в возрасте 360 суток прочность возрастает интенсивно только при содержании в ней до 9% битума, при большем количестве битума интенсивность нарастания прочности замедляется.

После натурного замораживания асфальтобетона наблюдалось снижение его прочности при сжатии, наиболее интенсивным оно было при увеличении уплотняющей нагрузки свыше 30 МПа.

С увеличением возраста образцов водонасыщение асфальтобетона из гранулированного шлака несколько снижалось, а после натурного замораживания-оттаивания увеличивалось (см.рис.2,а). Водонасыщение асфальтобетона из шлакового песка (см.рис.2,б) существенно не изменялось с течением времени с момента изготовления и после натурного замораживания-оттаивания.

Определить соотношение между количеством циклов замораживания-оттаивания в лабораторных условиях и при натурном замораживании можно по изменению пористости асфальтобетона. Как показали результаты испытаний, со временем пористость асфальтобетона из гранулированного шлака значительно снижается (рис.3,а), что связано, по всей видимости, с гидролизом и гидратацией гранулированного шлака под действием атмосферной влаги. После натурного замораживания-оттаивания пористость асфальтобетона из гранулированного шлака несколько возрастает (на 0,5-1,1% объема) по сравнению с пористостью асфальтобетона в возрасте 360 суток. Пористость асфальто-

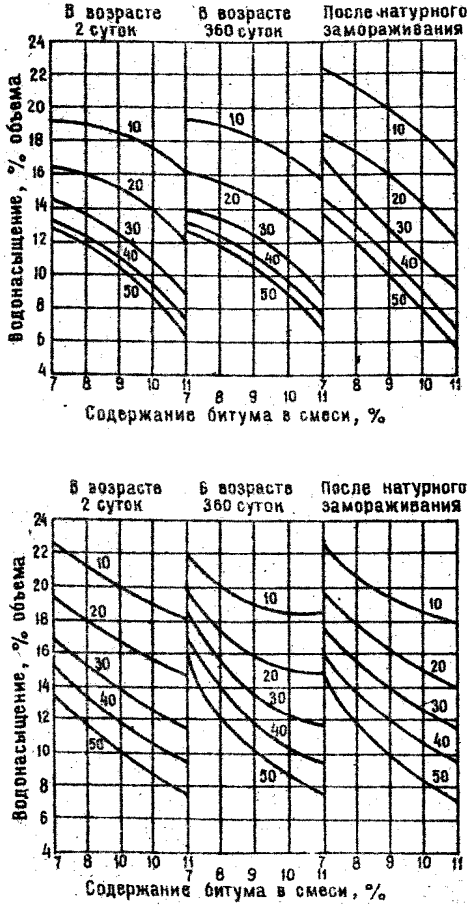


Рис. 2. Влияние возраста образцов, натурного замораживания, содержания битума, уплотняющей нагрузки на водонасыщение асфальтобетона из гранулированного шлака (а) и шлакового песка НЛМЗ (б). Цифра на кривых - уплотняющая нагрузка, МПа

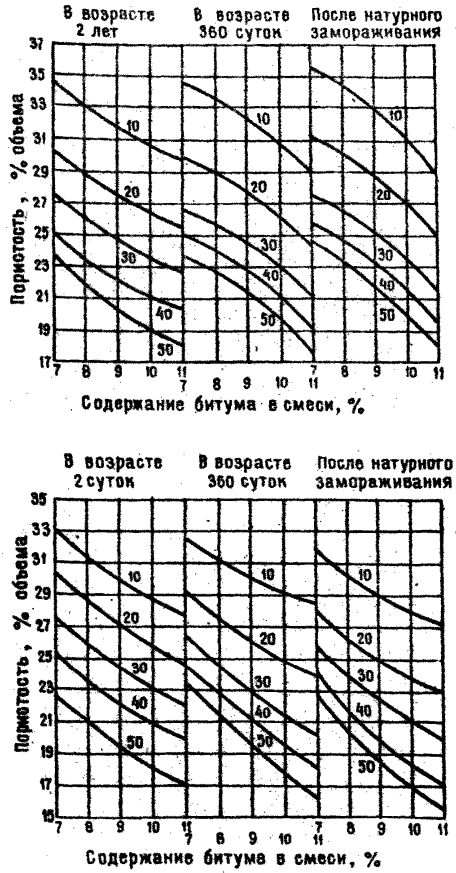


Рис. 8. Влияние возраста образцов, натурного замораживания, уплотняющей нагрузки и содержания битума на прочность асфальтобетона из гранулированного шлака (а) и шлакового песка НЛМЗ (б). Цифры на кривых - уплотняющая нагрузка, МПа

бетона из шлакового песка (см.рис. 3,б) со временем уменьшается при меньшем содержании битума. После натурного замораживания-оттаивания пористость асфальтобетона из шлакового песка несколько снижается.

Анализ построенного по математической модели графика (рис.4) позволяет установить влияние каждого параметра на предел прочности при сжатии асфальтобетона из битумограншлаковой смеси при температуре 20°.

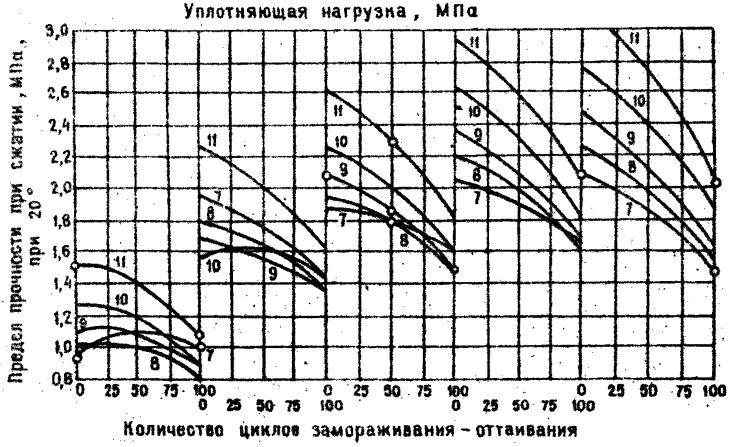


Рис. 4. Зависимость предела прочности при сжатии асфальтобетона из битумограншлаковой смеси (гранулированный шлак НЛМЗ и битум БНД-90/130) от уплотняющей нагрузки, количества циклов замораживания-оттаивания и содержания битума. Цифры на кривых - содержание битума в смеси, %

Можно отметить, что интенсивность нарастания прочности при сжатии образцов, подвергнутых воздействию знакопеременных температур, выше, нежели эталонных. Следовательно, в условиях водонасыщения и попеременного замораживания-оттаивания в шлакоасфальтобетоне продолжаются процессы гидратации шлаковых материалов, что приводит к возникновению коагуляционно-конденсационной структуры. Материалы

на основе гидравлических вяжущих обладают способностью к восстановлению первоначальной структуры вследствие "самозалечивания" дефектов, возникающих при попеременном замораживании-оттаивании [3]. Гидратация шлакового материала сопровождается возникновением контракционных пор, которые играют роль микроамортизаторов.

С увеличением количества циклов замораживания-оттаивания влияние содержания битума на прочность асфальтобетона при сжатии уменьшается, что также связано с продолжающими процессами структурообразования. Интенсивность снижения прочности асфальтобетона с увеличением уплотняющей нагрузки при воздействии знакопеременных температур усиливается (см.рис.4).

Водонасыщение битумошлаковых материалов с увеличением количества циклов замораживания-оттаивания возрастает (рис.5). Интенсивность изменения водонасыщения возрастает также с увеличением содержания битума в смеси. Это можно объяснить тем, что при увеличении содержания битума в смеси увеличивается толщина битумной пленки на зернах шлака, диффундирование воды через пленку битума замедляется и соответственно этому замедляется модификация поверхности зерен шлака и армирование пленки битума образуемыми при этом кристаллогидратами. Замерзающая вода прорывает битумные пленки, перекрывающие межзерновые замкнутые поры.

Пористость шлакоасфальтобетонных материалов незначительно возрастает до 50 циклов замораживания-оттаивания, а затем снижается (рис. 6). По всей видимости, в первые циклы замораживания-оттаивания происходит некоторая деструкция шлакоасфальтобетона и одновременно с ней - диффузия воды через пленку битума и гидратация. После 50 циклов замораживания-оттаивания образцов конструктивные процессы начинают преобладать над деструктивными вследствие гидратации шлакового материала под битумной пленкой, модификации поверхности верен шлака и заполнения как внутризерновых, так и межзерновых пор кристаллогидратами. Вследствие этого пористость шлакоасфальтобетона начинает уменьшаться. Такое явление наблюдается при любом содержании битума в асфальтобетоне и при любой уплотняющей нагрузке.

После натурного замораживания образцов асфальтобетона из гранулированного шлака происходит их разуплотнение, пористость этих образцов по сравнению с пористостью образцов, хранившихся 360 суток в воздушно-сухих условиях, возрастает. Увеличение пористости образцов замедляется с ростом степени уплотнения при содержании битума до 9% и с увеличением содержания битума при степени уплотнения до 40 МПа (табл. 1).

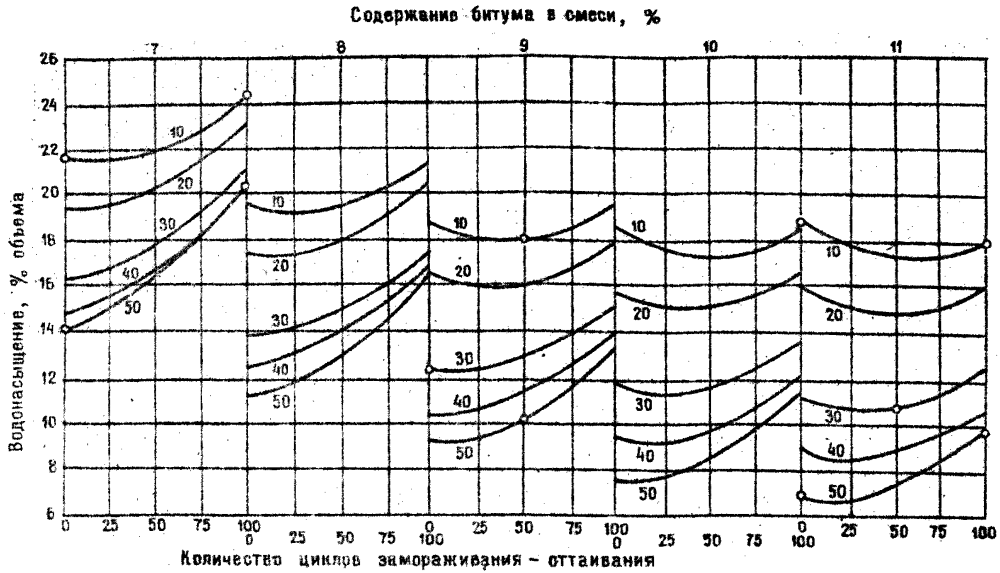


Рис. 5. Зависимость водонасыщения асфальтобетона из битумогранШлаковой смеси (гранулированный шлак НЛМЗ + битум марки БНД 60/90) от содержания битума в смеси, уплотняющей нагрузки и количества циклов замораживания-оттаивания. Цифры на кривых - уплотняющая нагрузка, МПа

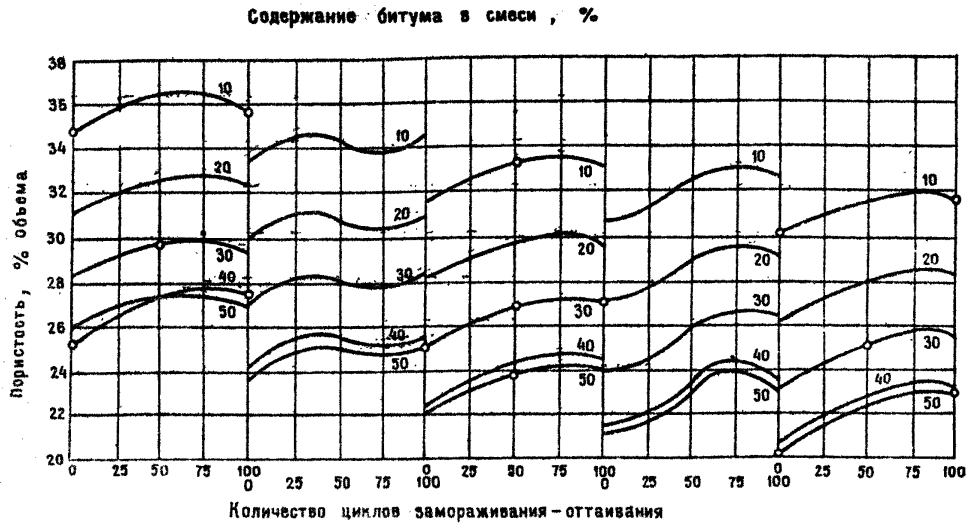


Рис. 6. Зависимость пористости асфальтобетона из битумогранШлаковой смеси (гранулированный шлак НЛМЗ + битум БНД 60/90) от содержания битума в смеси, уплотняющей нагрузки и количества циклов замораживания-оттаивания. Цифры на кривых - уплотняющая нагрузка, МПа

Таблица 1

Уплотняющая нагрузка, МПа	Содержание битума в смеси сверх 100% минеральной части, %				
	7	8	9	10	11
10	0,68	0,71	0,54	0,87	0,20
20	0,69	0,55	0,48	0,82	0,20
30	0,53	0,46	0,38	0,81	0,28
40	0,45	0,38	0,35	0,32	0,29
50	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38

зная величину разуплотнения (табл.1) и используя формулу

$$П = 26,28 - 5,55x_1 - 2,2x_2 + 1,01x_3 + 0,29x_2x_3 + 0,32x_1x_3 + 0,9x_1^2 + 0,61x_2^2 - 0,82x_3^2,$$

(x_1, x_2, x_3 - кодированные значения уплотняющей нагрузки, содержания битума в смеси и количества циклов замораживания-оттаивания соответственно), полученную по экспериментальным данным, можно определить коэффициент перехода от количества циклов замораживания-оттаивания в лабораторных условиях к количеству циклов, испытываемых асфальтобетоном в натурных условиях в течение 1 года (табл. 2).

Таблица 2

Уплотняющая нагрузка, МПа	Содержание битума в смеси сверх 100% минеральной части, %				
	7	8	9	10	11
10	27,80	18,98	12,72	7,88	3,91
20	18,18	12,88	9,34	6,32	3,68
30	12,27	9,81	7,52	5,78	4,00
40	9,51	7,47	6,47	5,59	4,80
50	5,80	5,86	5,92	5,96	4,71

Выводы

1. Процессы структурообразования в шлакоасфальтобетоне продолжаются длительное время с момента приготовления. Они ускоряются при применении более активных шлаковых материалов.

2. Воздействие знакопеременной температуры на водонасыщенный асфальтобетон приводит к его деструкции, но вследствие гидравлической активности минерального материала происходит самозалечивание дефектов структуры.

3. При назначении количества циклов замораживания-оттаивания в лабораторных условиях необходимо учитывать значения коэффициента перехода.

Литература

1. Гезенцвей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. М., 1971.

2. Кузнецов А.П. Местные осломочные материалы в строительстве на Северо-Западе. Л., 1975.

3. Иванов Ф.М., Поляков В.И. Самозалечивание и стойкость гидротехнического бетона. -Гидротехническое строительство, 1974, № 8.

УДК 625.062.2:0.68:751.85

ХОЛОДНЫЙ ШЛАКОВЫЙ АСФАЛЬТОВЫЙ БЕТОН

Г.А.Расстегаева, А.А.Руднев, С.И.Самодуров, И.С.Ковалев

Воронежский инженерно-строительный институт,
Управление "Липецкавтодор"

Основным достоинством холодных асфальтобетонных смесей является их способность к длительному хранению и последующему уплотнению в покрытии, что позволяет заготавливать эти смеси на асфальтобетонных заводах заблаговременно, в течение года. Обеспечение подвижности смесей при хранении достигается применением битумов пониженной вязкости [1,2,5] . Однако покрытия из таких смесей при высоких положительных температурах в ряде случаев являются несдвигоустойчивыми.

Для повышения сдвигоустойчивости покрытий, как показали результаты наших лабораторных и опытно-производственных исследований, целесообразно применять шлаковые пески, имеющие высокий угол внутреннего трения и обладающие гидравлическими вяжущими свойствами. Зерновой состав шлакового песка [6] удовлетворяет требованиям, предъявляемым к гранулометрическим составам холодных песча-

ных асфальтобетонных смесей [1]. Шлаковый песок является отсевом дробления литого шлакового материала на фракционный щебень, что обусловливает взаимное заклинивание частиц в асфальтобетонных смесях, повышая их структурно-механические свойства. Имея шлаковую природу, минеральный материал в смесях активно взаимодействует с битумом [7], переводя его в пленочное состояние, что позволяет применять для приготовления холодных смесей более вязкие битумы (БНД). Поскольку в районах с развитой металлургической промышленностью шлаковый песок является местным дорожно-строительным материалом, его использование в холодных смесях дает значительный экономический эффект.

Литой шлаковый материал является искусственным силикатным материалом, получаемым при медленном, во многих случаях послойном охлаждении доменного шлакового расплава. В результате дробления литого шлакового материала на фракционный щебень образуется до 30-40 % шлакового песка (фракция 0-5 мм) [6].

Прочность и устойчивость холодного шлакопесчаного асфальтобетона при температурных и влажностных изменениях определяется характером и степенью взаимодействия на разделе фаз битум - шлаковый песок. Наличие прочной связи на границе раздела в холодных шлакопесчаных асфальтобетонных смесях связано с интенсивным протеканием хемосорбционных процессов при объединении битума со шлаковым песком, о чем можно судить по времени десорбирования битума МГ-70/130 из смеси (табл.1) и количеству десорбированного битума.

Таблица 1

Время десорбирования битума из холодной шлакопесчаной асфальтобетонной смеси

Возраст образцов к началу экстрагирования, сутки	Продолжительность экстрагирования образцов, уплотненных нагрузкой (МПа)			
	10	30	40	60
4	6 ч 00 мин	8 ч 50 мин	9 ч 10 мин	10 ч 15 мин
30	6 50	9 05	9 20	11 30
60	7 20	9 35	10 10	12 20
90	9 30	10 10	12 00	18 05
180	10 20	11 30	18 05	13 30

Экстрагирование образцов производили в аппарате Сокслетта спирто-бензольной смесью. За окончание экстрагирования принимали время, при котором происходило полное осветление растворителя. Во всех случаях не удалось полностью отэкстрагировать битум из образцов.

С увеличением уплотняющей нагрузки и возраста образцов наблюдалась интенсификация процессов на разделе фаз битум - шлаковый песок (см.табл.1). Наименьшим было время десорбции образцов в возрасте 4 суток из смеси, уплотненной нагрузкой 10 МПа, наибольшим - время десорбции образцов в возрасте 180 суток из смеси, уплотненной нагрузкой 50 МПа. Из образцов раннего возраста и при меньшей степени уплотнения удавалось отэкстрагировать битума больше, чем из образцов более позднего возраста и при большей степени уплотнения.

Увеличение прочности адгезионных связей при росте уплотняющей нагрузки связано с перераспределением битума на поверхности шлакового песка, которое вызывается улучшением упаковки зерен в шлаковом асфальтобетоне. Увеличение времени экстрагирования с возрастом образцов указывает на длительность хемосорбционных процессов на поверхности шлакового песка. Битум на поверхности шлакового песка становится более вязким и упругим, способствуя повышению структурно-механических свойств битумошлаковой системы. В результате активного физико-химического взаимодействия и избирательного фракционирования большая часть битума в шлакопесчаной асфальтобетонной смеси переводится в пленочное, структурированное состояние, что обусловливает наряду с высокой механической прочностью таких смесей низкую олеживаемость при хранении даже в том случае, когда для приготовления применяется битум БНД-200/300 (табл. 2).

Минеральная часть представленных в табл. 2 смесей состоит из одного шлакового песка, зерновой состав которого отвечает требованиям, предъявляемым к зерновому составу холодных смесей. Для указанных смесей характерно то, что при изменении содержания битума не отмечается явно выраженного максимума прочности, который наблюдается для смесей, приготовленных из традиционных материалов. При изменении содержания битума от 5 до 8% прочность асфальтобетона изменяется незначительно.

Это аномальное поведение материала можно объяснить структурирующей способностью шлакового песка: в асфальтобетонной смеси битумная пленка достигает стабильности при различной толщине, что обусловливает широкий диапазон оптимального содержания битума.

Для холодных асфальтобетонных смесей важной характеристикой

Таблица 2

Физико-механические свойства холодных шлакопесчаных асфальтобетонных смесей, приготовленных с различным содержанием битума

Марка битума	Содержание битума в смеси, %	Слеживаемость, число ударов	Объемная масса, г/см³	Водонасыщение, % объема	Набухание, % объема	Прочность при сжатии, МПа			Коэффициент водоустойчивости	Коэффициент длительной водоустойчивости
						при 20°	после водонасыщения	через 15 суток водонасыщения		
МГ-70/130	5	1	2,16	14,52	0,38	1,5	1,5	1,1	1,00	0,79
	6	1	2,21	12,96	0,61	1,5	1,5	1,1	1,00	0,73
	7	3	2,28	9,88	0,30	1,6	1,6	1,3	1,00	0,81
	8	3	2,26	8,38	0,30	1,7	1,7	1,4	1,00	0,82
	9	3	2,31	8,05	0,39	1,6	1,6	1,5	1,00	0,93
	10	3	2,31	6,04	0,21	1,6	1,6	1,5	1,00	0,93
СГ-130/200	4	1	2,17	17,07	0,56	2,6	1,0	1,7	0,81	0,65
	5	3	2,21	14,74	0,72	2,6	2,5	1,8	0,98	0,69
	6	5	2,24	12,57	0,61	2,7	2,7	2,0	1,00	0,74
	7	7	2,25	11,20	0,51	2,7	2,7	1,7	1,00	0,65
	8	9	2,28	8,49	0,34	2,7	2,6	1,6	1,00	0,64
	9	13	2,29	7,60	0,30	2,4	2,6	1,6	1,08	0,66
БНД-200/300	4	2	2,19	17,11	0,76	2,6	2,2	2,1	0,85	0,80
	5	4	2,21	15,05	0,68	3,2	2,3	2,5	0,72	0,79
	6	6	2,22	13,05	0,62	3,3	2,4	2,1	0,73	0,64
	7	9	2,26	9,96	0,46	3,4	2,4	2,9	0,71	0,84
	8	10	2,27	8,92	0,34	3,5	2,8	3,0	0,80	0,86
	9	13	2,30	8,23	0,37	3,0	3,0	2,8	1,00	0,94

является слеживаемость, которая отражает их способность к длительному хранению. Как показывают результаты испытания, слеживаемость холодных асфальтобетонных смесей с содержанием битума 6-8%, даже марки БНД-200/300, достаточно низка и не превышает 10 ударов (см. табл. 2). Слеживаемость смеси не повышается и при выдерживании образцов, приготовленных по стандартной методике, в течение 3 месяцев, что указывает на возможность длительного хранения таких смесей.

Следовательно, процессы взаимодействия битума с поверхностью шлакового песка при уплотняющей нагрузке 0,05 МПа, продолжающиеся длительное время, не вызывают увеличения сцепления частиц.

Наряду с низкой слеживаемостью холодные шлакопесчаные асфальтобетонные смеси, приготовленные на битумах СГ-130/200 и БНД-200/300, имеют такую же прочность, как горячие битумоминеральные смеси (ГОСТ 9128-76).

По сравнению с требованиями стандарта [1] холодные шлакопесчаные асфальтобетонные смеси характеризуются несколько повышенными значениями водонасыщения, что может привести к их разрушению при длительном водонасыщении и воздействии попеременного замораживания-оттаивания.

Для оценки длительной водоустойчивости образцов из шлакового песка и битума марок СГ-130/200, МГ-70/130, БНД-200/300 и шлакового песка (80%), гранулированного шлака (20%) и битума МГ-70/130 их выдерживали в воде 2;14; 28; 60; 120 и 180 суток с последующим определением физико-механических свойств.

Образцы из смеси шлакового песка и битума СГ-130/200, а также из смеси шлакового песка и битума марки МГ-70/130 имели почти одинаковую прочность при сжатии после 2 и 180 суток водонасыщения. Прочность при сжатии образцов с битумом СГ-130/200 после 2 суток водонасыщения составляла 2,1 МПа, после 180 суток - 2,2 МПа. Прочность при сжатии образцов с битумом МГ-70/130 после 2-суточного водонасыщения была равна 1,5 МПа, после 180-суточного - 1,4 МПа. У образцов из смеси шлакового песка и битума марки БНД-200/300 с увеличением срока водонасыщения с 2 до 180 суток прочность при сжатии снизилась с 2,3 до 1,7 МПа. Прочность образцов из шлакопесчаной асфальтобетонной смеси с добавкой гранулированного доменного шлака, приготовленной на битуме МГ-70/130, с увеличением срока водонасыщения от 2 до 180 суток возросла с 1,2 до 1,9 МПа. Это объясняется тем, что при длительном водонасыщении на поверхности гранулированного доменного шлака образуются продукты гидратации, с которыми битум активно взаимодействует, и на разделе фаз происходит более интенсивное образование органоминеральных соединений, чем на разделе фаз в смеси битума со шлаками кристаллической структуры.

Следовательно, шлаковые асфальтовые бетоны проявляют сравнительно большую устойчивость к длительному воздействию воды, чем асфальтовые бетоны из естественного каменного материала. На основании этого можно утверждать, что шлаковые асфальтобетонные пок-

рытия на автомобильных дорогах могут хорошо служить не только в зоне умеренного, но и в зоне избыточного увлажнения. Шлаковые материалы кристаллической структуры обладают слабыми гидравлическими вяжущими свойствами. В увлажненном состоянии на их поверхности происходят слабые процессы гидратации. При взаимодействии битума с продуктами гидратации на разделе шлак - битум образуются органоминеральные соединения, весьма устойчивые к воздействию воды. Поэтому повышенное водонасыщение холодных шлаковых асфальтобетонов не следует рассматривать как их недостаток. Многолетняя практика эксплуатации покрытий, построенных из горячих и холодных битумошлаковых смесей, показывает их хорошую водоустойчивость.

Одной из важнейших характеристик холодных асфальтобетонных смесей является их пластичность. Вследствие слабой когезионной связи между молекулами битума, обусловленной его малой вязкостью, на покрытиях из холодных асфальтобетонных смесей часто появляются пластические деформации в местах, где возникают значительные сдвиговые усилия от движущегося транспорта (повороты, спуски, остановки и т.п.). Для оценки устойчивости шлакопесчаной асфальтобетонной смеси сдвиговым деформациям был определен коэффициент пластичности.

По Н.Н.Иванову [3], зависимость между временным сопротивлением сдвигу R и скоростью деформации V выражается уравнением

$$R = R_0 \left(\frac{V}{V_0} \right)^K,$$

где K - коэффициент, характеризующий пластичность асфальтового бетона. Для устойчивого против сдвиговых деформаций асфальтового бетона коэффициент пластичности K должен быть не более 0,17. Кривые изменения напряжений во времени для холодного шлакового асфальтобетона представлены на рис.I.

Коэффициент пластичности для асфальтобетонной смеси из шлакового песка (100%) и битума СГ-130/200 (6,5%) равен 0,11, для асфальтобетонной смеси из шлакового песка (100%) и битума МГ-70/130 (6,5%) - 0,12. Таким образом, коэффициент пластичности обеих смесей меньше 0,17, что свидетельствует о хорошей сдвигоустойчивости покрытия из холодной битумошлакопесчаной смеси.

Деформационную устойчивость битумоминеральных покрытий определяют с помощью соотношения модуля упругости $E_{упр}$ и вязкой вязкости η, характеризующего период релаксации Θ напряжений в покрытии:

$$\Theta = \frac{\eta}{E_{упр}}.$$

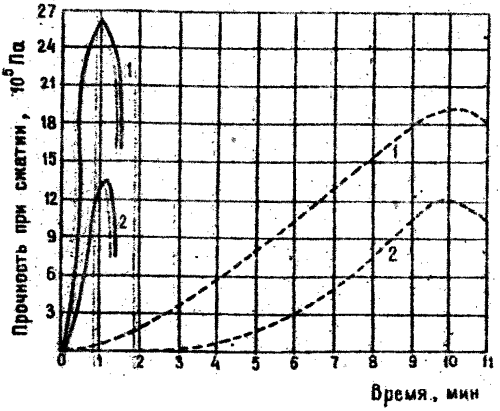


Рис.1. Изменение напряжений при скорости деформации 0,5 мм/мин (пунктирные линии) и 3 мм/мин (сплошные линии) в образцах из холодного асфальтобетона следующего состава:
1 - шлаковый песок - 100%, битум СГ-130/200 - 6,5%;
2 - шлаковый песок - 100%, битум МГ-70/130 - 6,5%

В лабораторных условиях модуль упругости и истинную вязкость холодной шлакопесчаной асфальтобетонной смеси из шлакового песка (100%) и битума МГ-70/130 (6,5%) определяли на образцах - балочках размером 4 х 4 х 16 см при температуре 17^0.

Модуль упругости устанавливали при динамическом нагружении балочек с действием нагрузки 0,1 с и периодом разгрузки 1 с. Он оказался равным 1531,2 МПа.

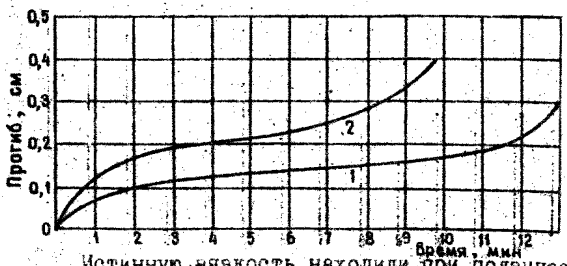


Рис. 2. Ползучесть холодного асфальтобетона при напряжении: 1 - 0,084; 2 - 0,068 МПа

Истинную вязкость находили при ползучести балочки под действием напряжения 0,084 и 0,068 МПа (рис.2) по формуле

$$\eta = \frac{\sigma - \sigma_{кр}}{\varepsilon_{ост}},$$

где σ - полное напряжение, приложенное на образец; $\sigma_{кр}$ - напряжение предела текучести,

$$\sigma_{кр} = \frac{\sigma_1 \varepsilon_2' - \sigma_2 \varepsilon_1'}{\varepsilon_2' - \varepsilon_1'},$$

где σ_1 и σ_2 - напряжения в образцах при полаучести, большие $\sigma_{кр}$; ε_1' и ε_2' - скорости релаксационного течения под воздействием напряжений σ_1 и σ_2; $\varepsilon'_{ост}$ - скорость развития остаточной деформации, определяется по кривой "нагрузка-разгрузка" (рис.3).

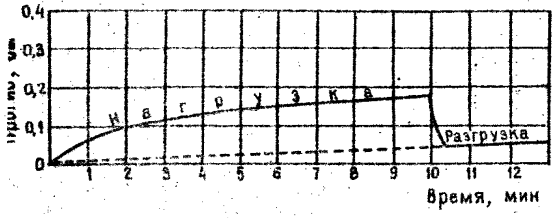


Рис.3. К определению нарастания остаточной деформации (σ = 0,04 МПа)

Для рассматриваемого асфальтобетона истинная вязкость составила $1 \cdot 10^8$ Па с. Период релаксации - 19 с. По данным С.К.Носкова [4], для горячих асфальтобетонных смесей на вязком битуме вязкость при этой же температуре равна $5 \cdot 10^2$ Па·с, период релаксации - 416 с.

Для опытного строительства готовили холодную шлаковую асфальтобетонную смесь из шлакового песка фракции 0-5 мм (85%) и битума МГ-70/130 - 6%. Температура смеси на выходе из смесителя была равна 110^0. Смесь после изготовления выдерживали 7 суток в штабеле толщиной 1,5 м. Дальнейшие исследования показали, что такого состава холодные смеси даже после 7 месяцев хранения не слеживались и сохраняли хорошую удобоукладываемость.

При опытном строительстве смесь разравнивали по ширине проезжей части дороги грейдером и уплотняли моторным катком статического действия с гладкими вальцами 7-8 проходами по одному следу. После 2 месяцев эксплуатации покрытие приобрело достаточную прочность, но еще не достигло проектной плотности.

Результаты лабораторных и опытно-производственных исследований показывают, что холодные шлаковые асфальтобетонные смеси можно укладывать в покрытие и при дожде, что позволит в значительной степени уплотнить строительный сезон.

Литература

1. ГОСТ 9128-76. Смеси дорожные и аэродромные и асфальтобетонные. М., 1976.

2. Инструкция по строительству асфальтобетонных покрытий. (ВСН 93-73). М., 1973.

3. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд/ Под ред. Н.Н.Иванова. М., 1973.

4. Носков С.К. Упруго-пластично-вязкие свойства битума и асфальтовых смесей. - В кн.: Гидро- и теплоизоляционные материалы и конструкции. М., 1955.

5. Рекомендации по устройству покрытий из холодного асфальтобетона, приготовленного на базе асбестовых отходов. М.,1974.

6. Самодуров С.И., Расстегаева Г.А., Ковалев Н.С. Применение отходов дробления литого шлакового щебня для строительства автомобильных дорог. Экспресс-информация ЦБНТИ.М.,1974, вып.13.

УДК 625.855.3

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА НА СВОЙСТВА ХОЛОДНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В.Г.Еремин

Воронежский инженерно-строительный институт

Холодные мелкозернистые асфальтобетонные смеси из традиционных материалов подразделяются, как и горячие, на щебенистые с каркасной структурой (35-50% щебня) и малощебенистые с порфировой структурой (18-35% щебня), и состоят из щебня основных горных пород, песка, минерального порошка и жидкого битума. Трехкомпонентная минеральная часть таких смесей усложняет технологию их приготовления, а наличие минерального порошка повышает стоимость холодного асфальтобетона. Применение гранулированного шлака в холодном асфальтобетоне позволяет приготавливать смеси с двухкомпонентной минеральной частью, при этом гранулированный шлак выполняет роль песка и минерального порошка.

Оптимальное содержание гранулированного шлака в холодной асфальтобетонной смеси находится в пределах 30-35% (рис.1). Именно при таком соотношении щебня и гранулированного шлака холодная асфальтобетонная смесь имеет максимальную прочность при сжатии, наибольшую объемную массу минерального остова и минимальное водонасыщение. Следовательно, при содержании в смеси 65-70% шлакового

щебня, 30-35% гранулированного шлака она имеет оптимальную (каркасную) структуру, которая характеризуется тем, что частицы щебня находятся в контакте друг с другом, а все "пазухи" между ними

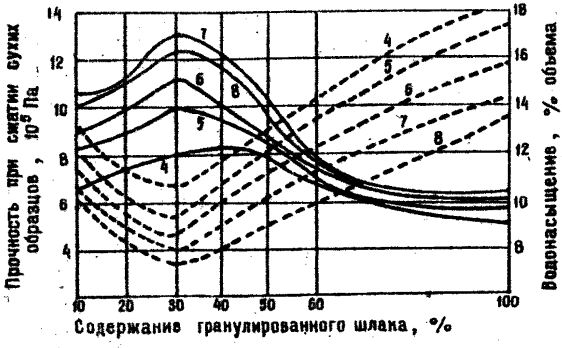


Рис.1. Изменение прочности при сжатии (сплошные линии) и водонасыщения (штриховые линии) в зависимости от содержания гранулированного шлака в смеси. Цифры на кривых - содержание в смеси битума МГ-70/130

заполнены гранулированным шлаком. Следует отметить, что при содержании в смеси более 60% гранулированного шлака ее прочностные свойства практически не отличаются от прочностных свойств холодных смесей на одном гранулированном шлаке. В этом случае отдельные щебенки находятся как бы в "плавающем" состоянии в смеси гранулированного шлака и битума, поэтому свойства асфальтобетонной смеси определяются свойствами системы гранулированный шлак - битум. При содержании в смеси гранулированного шлака менее 30% происходит раздвижка отдельных щебенок, а гранулированного шлака становится недостаточно, чтобы заполнить пустоты, в результате чего наблюдается уменьшение прочности и объемной массы минерального остова и увеличение водонасыщения.

В битумоминеральной композиции, которая включает щебень, гранулированный шлак и битум, гранулированный шлак выполняет роль песка и минерального порошка. Недостаток мелких фракций (рис. 2) восполняется путем дробления отдельных частиц гранулированного шлака, происходящего в процессе приготовления смеси и ее уплотнения. Гранулометрический состав минеральной части холодной асфальтобетонной смеси на основе шлакового щебня и гранулированного шлака несколько отличается от рекомендованного ГОСТ 9128-76 большим содержанием щебеночной составляющей и меньшим содержанием мелких частиц. На целесообразность повышения содержания в холодном асфальтобетоне фракций крупнее 2 мм при одновременном уменьшении содержания минерального порошка указывает Е.Н.Ковлова [2]. Н.М.Авласова [1] отмечает, что увеличение в асфальтобетонной смеси содержания щебня фракции 5-15 мм

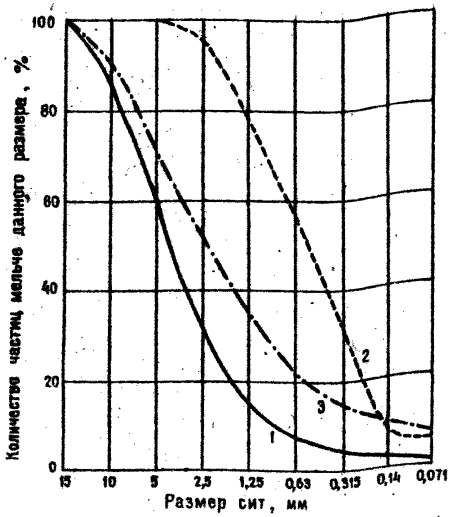


Рис. 2. Гранулометрический состав шлакового щебня (кривая 1), гранулированного шлака (кривая 2) и минеральной части (кривая 3) холодной асфальтобетонной смеси

до 60% значительно повышает прочностные показатели и сдвигоустойчивость холодного асфальтобетона. С.И.Самодуров [3] считает 30%-ное содержание гранулированного шлака оптимальным при использовании его вместо песка и минерального порошка в горячих асфальтобетонных смесях, приготовленных на шлаковом, гранитном или известняковом щебне.

Для холодных асфальтобетонных смесей с добавками гранулированного шлака характерно ускорение процессов структурообразования (рис. 3). Под действием активной поверхности гранулированного шлака битум переходит в пленочное, структурированное состояние, что повышает прочностные свойства и водоустойчивость асфальтобетонной системы.

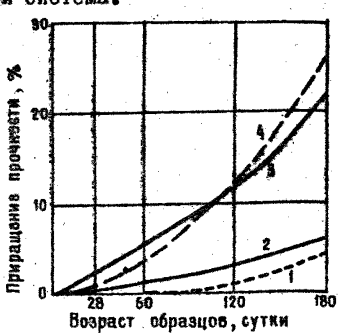


Рис.3. Изменение во времени прочности сухих (линии 3,4) и водонасыщенных (линии I,2) образцов холодных асфальтобетонных смесей:

1 и 2 - без добавки гранулированного шлака;
3 и 4 - с добавкой 30% гранулированного шлака

Литература

1. Авласова Н.М. Строительство покрытий из холодного асфальтобетона с повышенным содержанием щебня. - Тр. СоюздорНИИ. М., 1969, вып. 34.
2. Ковлова Е.Н. Холодный асфальтобетон. М., 1958.
3. Самодуров С.И. Асфальтобетонные смеси с использованием гранулированного шлака вместо песка и минерального порошка. - Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. М., 1966, вып. 2.

УДК 691.88 : 624.188

ВЛИЯНИЕ ФОСФОГИПСА НА ПРОЦЕСС ТВЕРДЕНИЯ ИЗВЕСТКОВО-ЗОЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО

В.А.Кейльман, В.П.Матуа
Ростовский инженерно-строительный институт

Использование в дорожном строительстве вяжущих на основе отходов промышленности, в частности, зол-уноса тепловых электростанций, имеет важное значение, поскольку при этом решаются две задачи: расширения ресурсов вяжущих материалов и утилизации отвальных вольных смесей.

В Зональной дорожной научно-исследовательской лаборатории Ростовского инженерно-строительного института исследована эффективность применения в известково-вольных вяжущих фосфогипса (отход производства ортофосфорной кислоты) с целью ускорения процессов структурообразования.

Фосфогипс представляет собой мелкокристаллическое вещество серого цвета. Химическая формула основного вяжущего $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. При взаимодействии извести, золы-уноса и фосфогипса, наряду с образованием гидросиликатов кальция, возможно образование и окиси сульфатов по следующей схеме:

$$m\,Ca(OH)_2 + n\,CaSO_4 \cdot 2H_2O + pH_2O \rightarrow m\,Ca(OH)_2 \cdot n\,CaSO_4 \cdot pH_2O.$$

В этом случае двойные соли - гидраты являются труднорастворимыми и принимают участие в формировании цементного камня. Оксисульфаты, откладываясь в виде пленок, кольматируя поры или внедряясь в структуру материала наравне с другими фазами, ускоряют процесс

твердения и способствуют более интенсивному набору прочности известково-зольного вяжущего.

Результаты экспериментальных исследований, приведенные в табл. 1, подтверждают сказанное. Для сравнения в табл. 1 даны основные показатели аналогичных смесей, в которых в качестве электролита применен хлористый кальций.

Таблица 1

Номер смеси	Содержание в смеси, %				Предел прочности пропаренных образцов после 28 суток твердения, 10^{-5} Па		Удельная поверхность по ПСХ-2 S, $см^2/г$
	извести	золы-уноса	фосфогипса	хлористого кальция	$R_{сж}$	$R_и$	
1	20	73	7	-	75	25,8	4060
2	20	73	-	7	69	18,5	3820
3	22	78	-	-	44	11,9	3880
4	74	-	26	-	17	4,4	4050
5	74	-	-	26	7,5	2	5840
6	-	91	9	-	6,9	2	4690
7	-	91	-	9	15	4	4460

Результаты исследований по выявлению оптимального процентного содержания фосфогипса в составе известково-зольной смеси приведены в табл. 2.

Таблица 2

Номер смеси	Содержание в смеси, %			Предел прочности при сжатии 10^{-5} Па, через следующее число суток твердения	
	извести	золы-уноса	фосфогипса	14	28
8	23	75	2	7,9	20,0
9	22	74	4	11,9	21,7
10	22	73	5	17,0	30,1
11	21	70	9	7,5	13,8
12	19	65	16	7,8	11,7
13	17	56	27	5,9	11,7
14	13	43	44	3,1	7,5

Образцы без добавки и с добавкой фосфогипса в возрасте 28 и 90 суток были подвергнуты рентгено-фазовому анализу.

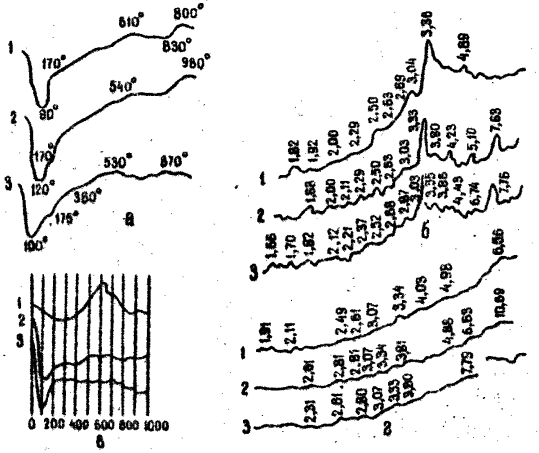


Рисунок. Термограммы (а,в) и дифрактограммы (б,г) известково-вольных смесей после 28-суточного (а,б) и 90-суточного (в,г) твердения:
1 - без добавки фосфогипса; 2 - с добавкой фосфогипса в количестве 2,5%; 3 - в количестве 5%

Согласно данным рентгено-фазового анализа (см.рисунок, б), в пробе известково-вольной смеси 28-суточного твердения, кроме линий, характерных для исходных компонентов золы (3,36; 2,69; 2,50А°) и гидроокиси кальция (2,63; 4,89; 1,92 А°), появляются слабые линии в области межплоскостных расстояний 3,04; 2,87 и 1,82 А°, которые относятся к гидросиликатам кальция тоберморитового типа - высокоосновному C_2SH_2 или низкоосновному CSH(B). Определение фазового состава C_2SH_2 и CSH(B) представляет некоторые трудности, так как на рентгенограммах линии высокоосновных и низкоосновных гидросиликатов кальция совпадают. Тем не менее наличие эндотермического эффекта дегидратации C_2SH_2 на дифференциальной термограмме этой пробы, а также отсутствие экзотермического эффекта в области 800°, характерного для низкоосновных гидросиликатов кальция переменного состава CSH(B), позволяет отнести гидросиликатные новообразования к высокоосновному тоберморитоподобному гидросиликату кальция C_2SH_2 .

Эндотермический эффект выделения адсорбционной воды (120°) из гелеподобных новообразований (см.рисунок, а,б, кривые 2-3)

свидетельствует о более интенсивном взаимодействии между активными компонентами золы-уноса и гидроокисью кальция в присутствии фосфогипса. Характерно, что у проб с добавкой фосфогипса этот эффект более высокий, чем у аналогичных проб без активатора.

Рентгено-фазовое исследование проб образцов 90-суточного твердения показали, что в них начинают развиваться процессы самоуплотнения известково-зольного камня, уменьшаются пористость структуры и количество негидратированных зерен стеклоподобной фазы золы-уноса. В известково-зольных пробах образцов (особенно с добавкой фосфогипса) в возрасте 90 суток в отличие от аналогичных проб 28-суточного твердения значительно увеличивается количество гидратных новообразований. Таким образом, в результате взаимодействия гидроокиси кальция с компонентами золы-уноса в ранние сроки твердения образцов (до 28 суток) в них образуются гелеподобные продукты гидратации.

Увеличение в известково-зольных образцах содержания высокодисперсных гидратных новообразований и появление малозакристаллизованных фаз в более поздние сроки твердения (до 90 суток) приводит к образованию в них прочного структурного каркаса. Добавка фосфогипса способствует более интенсивному взаимодействию извести со стекловидной фазой золы-уноса. Это приводит к образованию большого количества гидратных новообразований, значительному уплотнению структуры, что увеличивает прочность смеси (см.табл. 1,2).

Выводы

1. Для ускорения процессов структурообразования в известково-зольных смесях вместо хлористого кальция может быть использован отход промышленности - фосфогипс.

2. Наибольшие прочностные показатели известково-зольное вяжущее имеет при введении в его состав фосфогипса в количестве 2,5-5% от массы смеси.

УДК 691.327

АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ОБЖИГОВЫХ ДОРОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.Г.Маршева, В.Д.Остапенко

Воронежский инженерно-строительный институт

При эксплуатации асфальтобетонных покрытий в большинстве случаев обнаруживается ослабление контакта между органическим вяжущим и минеральным материалом. Для предупреждения этого явления необходимо повышение прочности сцепления поверхностей раздела фаз в сложной гетерогенной физико-химической системе, каковой является асфальтобетон. Прочность такого сцепления определяется, во-первых, адгезионными свойствами органического вяжущего и, во-вторых, природой поверхности минеральных материалов (реакцией среды, некомпенсированностью силовых полей и т.д.).

Для увеличения сцепления применяются поверхностно-активные добавки, снижающие поверхностное натяжение материала, которое возникает в результате наличия некомпенсированных силовых полей. Эти добавки модифицируют поверхность минерального тела; в своем большинстве ПАВ имеют специфическое линейное строение молекул, один конец которых является гидрофобным углеводородным радикалом, а другой представляет собой гидрофильную часть, состоящую из гидрофильных и полярных групп (диполей) с резким действием валентных сил [2].

Исследования по улучшению сцепления органических вяжущих с поверхностью каменного заполнителя различного генезиса показали [1,2], что наиболее эффективными добавками являются ионогенные анион- и катионоактивные вещества.

Помимо поверхностно-активных добавок для повышения адгезии между битумом и поверхностью (в том числе влажной) каменного материала, т.е. для достижения устойчивого контакта между ними, применяются активаторы поверхности (известь, хлорное железо, цемент).

Нами было исследовано взаимодействие искусственных обжиговых каменных материалов с битумами Кириешского НПЗ различных марок. Для сравнения методом красителей (ГОСТ 11509-65) определяли показатель сцепления битума со стандартным материалом - мрамором.

Было установлено (табл. 1), что показатель сцепления битумов с керамдором несколько меньше, чем показатель сцепления тех же биту-

Таблица 1

Количественная характеристика сцепления битумов с некоторыми каменными материалами

Минеральный материал	Битум	Показатель сцепления
Мрамор	БНД-40/60	93,5
	БНД-60/90	90,8
	БНД-90/130	86,8
Керамдор	БНД-40/60	64,9
	БНД-60/90	67,8
	БНД-90/130	74,6
Термосуглинит	БНД-40/60	78,2
	БНД-60/90	68,1
	БНД-90/130	80,1

мов с мрамором и термосуглинистом. При этом чем меньше вязкость битума, тем выше его сцепление с керамдором, хотя характер сцепления имеет противоположную направленность [1].

Лучшее сцепление менее вязкого битума (БНД-90/130) с искусственными обжиговыми дорожными материалами, очевидно, можно объяснить более пористой и шероховатой структурой поверхностного слоя как керамдора, так и термосуглинита. По-видимому, на поверхности искусственных материалов происходит более полное удерживание менее вязкого битума за счет его проникновения в микропоры и микротрещины поверхностных слоев керамдора и термосуглинита.

Для термосуглинита показатель сцепления с битумами БНД-40/60 и БНД-60/90 имеет достаточно высокие и сравнительно близкие значения. Сцепление битумов БНД-40-60 и БНД 60/90 с керамдором оказалось несколько ниже, чем сцепление мрамора и термосуглинита.

Была проведена работа по повышению сцепления искусственных обжиговых материалов с применением различных поверхностно-активных добавок.

Сравнение воздействия на минеральный материал таких активаторов поверхности, как известковое молоко с 10%-ным содержанием $Ca(OH)_2$ и 2%-ного раствора соли Мора $(NH_4)_2Fe(O_4)_2\ 6H_2O$ показало, что первая добавка в значительной степени повышает адгезионную способность керамдора, тогда как вторая положительного влияния не

Таблица 2

Влияние добавок на показатель сцепления битума БНД-60/90 с керамдором и термосуглинитом

Минеральный материал	Добавка	Количество добавки, %	Показатель сцепления, %
Керамдор	Известковое молоко	10	86,2
	Соль Мора	3	71,3
	Латекс СКС-65	2	86,3
	Латекс СКД-1-Н	2	84,0
	КОРС	2	81,5
	Силикат натрия	2	55,9
Термосуглинит	Латекс СКД-65	2	87,9
	КОРС	2	84,7

оказывает. Применение жидкого стекла почти на 10 % уменьшает сцепление битума с керамдором (табл. 2). Использование латексов, особенно латекса СКС-65, и кубового остатка ректификации стирола (КОРСа) способствует улучшению адгезии битума как с керамдором, так и с термосуглинитом.

Таким образом, проведенные испытания показали сравнительно высокое адгезионное взаимодействие битумов с искусственными обжиговыми материалами, а также возможность повышения их сцепления путем применения таких поверхностно-активных добавок, как известковое молоко, латекс, КОРС.

Литература

1. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. М., 1973.

2. Шестоперов С.В. Дорожно-строительные материалы. М., 1969.

Р Е Ф Е Р А Т Ы

УДК 624.I38.06I.6

Применение метода инфракрасной спектроскопии при исследовании процессов взаимодействия в системах заполнитель-вяжущее. Платонов А.П. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, I980, с. 3-I0.

Приведены обобщенные данные по исследованию методом инфракрасной спектроскопии процессов, происходящих при укреплении грунтов смолами холодного отверждения. Показана эффективность метода при выяснении процессов межфазового взаимодействия на поверхности грунтовых частиц.

Библ. ссылок 5, ил. 5, табл. 3.

УДК 625.7.06/07

Исследование изменений состава и свойств битума методом инфракрасной спектроскопии. Картамышев В.В. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, I980, с. II-I7.

Излагаются результаты исследования изменения состава и свойств битума под влиянием климатических факторов. Для выявления химических и структурных изменений битума применен метод инфракрасной спектроскопии.

Библ. ссылок 9, ил. 2, табл. 3.

УДК 69I.I6 (0.88.8)

Исследование эмульгирующей способности анионоактивного эмульгатора ЭВШ. Харченко В.А., Чигиринцева Л.М., Элькина Т.С. - В кн: Применение местных строительных материалов и отходов промышлен-

ности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980, с. 18-22.

Исследована эмульгирующая способность нового анионоактивного эмульгатора ЭНШ, полученного путем содового омыления парафинового оксидата. Получены данные о влиянии концентрации эмульгатора в водном растворе на процесс эмульгирования, установлены оптимальный температурный режим среды в процессе эмульгирования и изменение состава и свойств эмульсии на отдельных этапах ее изготовления.

Библ. ссылок 8, табл. 3.

УДК 625.7.08

Из опыта применения технологии приготовления горячих асфальтобетонных смесей на основе гудрона. Северинов Ф.А., Халеев Д.М., Гладких В.П. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980 с. 23-25.

Установлено, что повышению качества смесей способствует подача в мешалку пульпы гипохлорита кальция в течение всего времени перемешивания. Смеси, приготовленные в производственных условиях, отвечают требованиям, предъявляемым ГОСТ 9128-76 к горячим асфальтобетонным смесям I и II марок.

Библ.ссылок 4, табл. I.

УДК 625.855

Влияние каучуковых материалов на структурно-механические свойства дорожных битумов. Крупин А.И. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980, с. 25-27.

Показано, что введение добавок каучуков к битумам расширяет температурный интервал использования битумно-каучукового вяжущего и повышает прочностные характеристики битумов. Из двух выбранных каучуков СКД и СКС-30 АРКПН больший упрочняющий эффект дает СКД.

Библ. ссылок 2, ил. 2.

УДК 69I.I6:625.855.3

Активация минеральных порошков некоторыми отходами химической промышленности. Сулин Н.И., Харченко В.А. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, I980, с. 28-3I.

Рассматривается возможность использования отходов предприятий коксохимической промышленности и заводов СК в качестве активирующих добавок при производстве активированных минеральных порошков. Асфальтобетонные смеси, приготовленные на минеральных порошках, активированных добавками каучук + КУС и каучук + ШБО, отличаются большой плотностью, тепло-водоустойчивостью, прочностью на растяжение и требуют пониженного расхода вяжущего.

Библ. ссылок 5, табл. 2.

УДК 66I.43I

Исследование воздействия растворов гипохлорита кальция на антикоррозионную устойчивость битумной пленки. Соколов Б.Ф., Лебедева Н.В. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, I980, с. 3I-35.

Рассматривается возможность защиты поверхности стали от коррозионного воздействия пульпы гипохлорита кальция битумной пленкой. Исследованы зависимости снижения окислительной активности пульпы от времени и температуры при контакте со стальными пластинами с незащищенной поверхностью и с поверхностью, покрытой битумной пленкой.

Библ. ссылок 2, ил. 5.

УДК 625.855,3.00I.5

Влияние добавок бутадиенового каучука на сдвиго- и трещиностойкость асфальтобетонных покрытий. Микрин В.И., Лаврухин В.П. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, I980, с. 35-47.

Излагаются результаты исследования влияния добавок бутадиенового каучука на сдвиго- и трещиностойкость асфальтобетонных покрытий. Определено значение отношения кинетических характеристик, получены уравнения регрессии, описывающие поведение материала при

расчетной высокой температуре и зимнем охлаждении.

Библ.ссылок 9, ил. 3, табл. 5.

УДК 625.7.07

Шлаковые асфальтобетонные покрытия и снижение потерь от дорожно-транспортных происшествий. Самодуров С.И., Шапиро Г.Л. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980, с. 47-52.

Произведен расчет экономической эффективности уменьшения потерь от дорожно-транспортных происшествий на дорогах с покрытием из шлакоасфальтобетона по сравнению с потерями от ДТП на дорогах с асфальтобетонным покрытием из традиционных минеральных материалов.

Библ. ссылок 2, табл. 3.

УДК 625.752

Влияние возраста образцов, натурного замораживания и замораживания в лабораторных условиях на структурно-механические свойства асфальтобетона из шлаковых материалов. Ковалев Н.С. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980, с.53-65.

Установлено, что воздействие знакопеременных температур на водонасыщенный шлакоасфальтобетон не препятствует возникновению в нем коагуляционно-кристаллизационной структуры. Определены значения коэффициента перехода от лабораторных циклов замораживания-оттаивания к натурным для центрально-черноземных областей.

Библ. ссылок 3, ил. 6, табл. 2.

УДК 625.062.2:0.68:731.85

Холодный шлаковый асфальтовый бетон. Расстегаева Г.А., Руднев А.А., Самодуров С.И., Ковалев Н.С. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980, с. 65-73.

Рассматриваются основные структурно-механические свойства холодного шлакового асфальтобетона на основе отсевов дробления литого шлакового щебня. Установлено, что повышенное водонасыщение холодного шлакового асфальтобетона не может рассматриваться как отрица-

тельное свойство. Коэффициент пластичности материала, значительно меньший 0,17, гарантирует сдвигоустойчивость покрытия. Холодная шлаковая асфальтобетонная смесь может готовиться на более вязких битумах, включая битум БНД-200/300.

Библ. ссылок 7, ил. 3, табл. 2.

УДК 625.855.3

Влияние добавок гранулированного шлака на свойства холодных асфальтобетонных смесей. Еремин В.Г. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980, с. 73-76.

Показана возможность приготовления мелкозернистых холодных асфальтобетонных смесей с использованием взамен песка и минерального порошка гранулированного шлака. Обосновывается оптимальное содержание гранулированного шлака, которое обеспечивает максимальные прочностные свойства смеси и их минимальное водонасыщение. Установлено, что добавки гранулированного шлака ускоряют процессы структурообразования покрытий из холодного асфальтобетона.

Библ. ссылок 3, ил. 3.

УДК 691.33:624.138

Влияние фосфогипса на процесс твердения известково-зольного вяжущего. Кейльман В.А., Матуа В.П. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980, с. 76-79.

Установлено, что введение фосфогипса в состав известково-зольного вяжущего ускоряет процессы структурообразования, что подтверждается данными термического, рентгено-фазового анализов. Интенсивное взаимодействие извести с аморфным кремнеземом золы-уноса приводит к образованию большого количества гидросиликатов кальция, к значительному уплотнению структуры и в конечном итоге к повышению прочности смеси.

Ил. 1, табл. 2.

УДК 691.327

Адгезионные свойства некоторых искусственных обжиговых дорожных материалов. Марышева О.Г., Остапенко В.Д. - В кн.: Применение местных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980, с. 80-82.

Рассматривается адгезионное взаимодействие искусственных обжиговых дорожных материалов керамдора и термосуглинита с битумами различных марок. Приводятся результаты исследований по улучшению адгезионных свойств минеральных искусственных заполнителей путем применения поверхностно-активных добавок.

Библ. список 2, табл. 2.

СОДЕРЖАНИЕ

Платонов А. П. Применение метода инфракрасной спектроскопии при исследовании процессов взаимодействия в системах заполнитель — вяжущее 3

Картамышев В. В. Исследование изменений состава и свойств битума методом ИК-инфракрасной спектроскопии . . 11

Харченко В. А., Чигиринцева Л. М. Исследование эмульгирующей способности анионоактивного эмульгатора ЭВШ 18

Северинов Ф. А., Халеев Д. М., Гладких В. Г. Из опыта применения технологии приготовления горячих асфальтобетонных смесей на основе гудрона 23

Крупин А. И. Влияние каучуковых материалов на структурно-механические свойства дорожных битумов . . . 25

Сулин Н. И., Харченко В. А. Активация минеральных порошков некоторыми отходами химической промышленности 28

Соколов Б. Ф., Лебедева Н. В. Исследование воздействия растворов гипохлорита кальция на антикоррозионную устойчивость битумной пленки 31

Микрин В. И., Лаврухин В. П. Влияние добавок бутадиенового каучука на сдвиго- и трещиностойкость асфальтобетонных покрытий 35

Самодуров С. И., Шапиро Г. Л. Шлаковые асфальтобетонные покрытия и снижение потерь от дорожно-транспортных происшествий 47

Ковалев Н. С. Влияние возраста образцов, натурного замораживания в лабораторных условиях на структурно-механические свойства асфальтобетона из шлаковых материалов . . 53

Расстегаева Г. А., Руднев А. А., Самодуров С. И., Ковалев Н. С. Холодный шлаковый асфальтовый бетон . . 65

Еремин В. Г. Влияние добавок гранулированного шлака на свойства холодных асфальтобетонных смесей 73

Кейльман В. А., Матуа В. П. Влияние фосфогипса на процесс твердения известково-вяжущего 76

Марышева О. Г., Остапенко В. Д. Адгезионные свойства некоторых искусственных обжиговых дорожных материалов 80

Рефераты 83

gost.e-ecolog.ru