

УДК 665.775.4

Повышение качества дорожных покрытий

Н. П. КРУТЬКО¹, О. Н. ОПАНАСЕНКО¹, А. В. МИНИН²¹Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси,
ул. Сурганова, 9, Минск 220072 (Беларусь)

E-mail: krutko@igic.bas-net.by

²Департамент “Белавтодор” Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь,
ул. Кальварийская, 29, Минск 220073 (Беларусь)

Аннотация

Исследованы коллоидно-химические свойства поверхностно-активных веществ различных классов и битумов, исследовано их взаимодействие с минеральным материалом. Предложены новые материалы и эмульсионные технологии для устройства дорожных покрытий, позволяющие повысить качество и эксплуатационные характеристики дорожного полотна.

ВВЕДЕНИЕ

Республика Беларусь, не обладая достаточными природными ресурсами и не имея выходов к морю и полноводных рек, имеет свои преимущества перед другими государствами. Главное из них – географическое положение страны: в центре Европы, на пересечении транспортных путей. Важнейшие транспортные коридоры – из Западной Европы в Россию и государства Азии, из стран Скандинавии к Черному морю – проходят через ее территорию.

Этим обусловлено наличие в республике разветвленной сети автомобильных дорог общего пользования, протяженность которых составляет 63.4 тыс. км, в том числе 15.5 тыс. км относятся к республиканским и 47.9 тыс. км к местным дорогам.

По дорогам страны автомобильным транспортом перевозится 74 % всех грузов и 93 % пассажиров. Растет объем транзитных перевозок. Наиболее напряженно эксплуатируются дороги республиканского значения, по которым перевозится около 70 % грузов и столько же пассажиров.

По результатам проведенной в последние годы диагностики определено, что только 32 % протяженности республиканских дорог

соответствуют нормативным требованиям по таким показателям, как ровность, сцепные свойства покрытий, прочность, различные дефекты. Не лучшим образом обстоят дела и с сетью местных дорог.

Указанное состояние автомобильных дорог непосредственно оказывает негативное влияние на социально-экономические аспекты развития экономики республики и, прежде всего, на работу автомобильного транспорта, рентабельность работы предприятий, особенно в сельской местности, на условия жизни сельского населения.

В такой ситуации важнейшим условием, которое помогает продлить сроки нормальной эксплуатации дорожной сети, является своевременное выполнение ремонта существующих дорог. Однако это условие хронически не выполняется.

В создавшихся условиях успешная работа отрасли, а в результате, и улучшение состояния дорожной сети во многом зависят от проводимой департаментом “Белавтодор” научно-технической политики, в основу которой заложены принципы обеспечения всемерной экономии материальных и топливно-энергетических ресурсов, ориентации на самые современные ресурсосберегающие технологии и материалы.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

В современных условиях при решении проблем повышения технического уровня и долговечности автомобильных дорог важная роль отводится новым органическим вяжущим – битумным эмульсиям и модифицированным битумам – и холодным технологиям с их использованием.

Внедрение холодных технологий проводится по нескольким основным направлениям: устройство шероховатых слоев износа; производство гравийно-эмульсионных смесей для конструктивных слоев дорожных “одежд” с использованием местного бедного карьерного материала; повторное использование старого асфальтобетона совместно с эмульсией и композиционными вяжущими, использование эмульсии для гидроизоляции покрытий; производство и применение холодных складуемых смесей для ямочного ремонта. Особой строкой стоит мембранная технология для ремонта цементобетонных покрытий. Широкомасштабное внедрение новых технологий началось в 1997 г.

Битумные эмульсии

Основная задача, решаемая при эмульгировании битумов, – это приготовление эмульсии первого рода с определенными коллоидно-химическими характеристиками. К устойчивости дорожных эмульсий как коллоидных систем предъявляются сложные требования. Они должны быть стабильными в период транспортировки и хранения, а после нанесения на поверхность минеральных материалов – коагулировать, причем с определенной скоростью, оптимальной для принятой технологии производства дорожно-строительных работ. Существует критическое значение этого показателя, при достижении которого начинается резкое ухудшение свойств формируемого покрытия.

При взаимодействии катионных битумных эмульсий с минеральными наполнителями молекулы эмульгатора адсорбируются на отрицательно заряженных центрах твердой поверхности. В начальный момент происходит адсорбция молекул эмульгатора из свободной дисперсионной среды, не вызывающая сущест-

венных изменений в адсорбционно-гидратных оболочках битумных частиц. Если адсорбционная активность минерального материала сравнительно невелика, а количество адсорбтива окажется достаточным, чтобы скомпенсировать все активные центры на поверхности зерен, то коагуляции эмульсии не произойдет. В противном случае адсорбция будет продолжать развиваться за счет дегидратации и десорбции эмульгатора из адсорбционно-защитного слоя на поверхности битумных частиц, что неизбежно приведет к ослаблению структурно-механического барьера вокруг них и коагуляции эмульсии [1].

Скорость разрушения эмульсии зависит, во-первых, от рецептуры эмульсии, во-вторых, от размера частиц эмульгированного битума и, в-третьих, от природы и гранулометрического состава минерального материала.

Поверхностно-активные вещества

Существует определенная закономерность между адсорбцией поверхностно-активных веществ (ПАВ) на поверхности минерала, скоростью разрушения битумной эмульсии и степенью покрытия щебня вяжущим. Чем выше адсорбция ПАВ на данном минерале, тем быстрее разрушается эмульсия на его тонкодисперсных фракциях, в результате чего может наблюдаться неполное покрытие битумом крупных зерен щебня. Таким образом, процесс формирования покрытий из эмульсионно-минеральных смесей определяется адсорбционными равновесными процессами на границах раздела битум – эмульгатор – минеральный материал. Основным параметром, лимитирующим время разрушения битумной эмульсии при взаимодействии ее с минеральным материалом, является процесс десорбции молекул ПАВ, адсорбированных на поверхности битума.

Исследование коллоидно-химических свойств ПАВ на основе аминов различного химического строения является тем фундаментом, на котором возможна разработка новых рецептур битумных эмульсий и технологий их практического использования.

Нами изучены коллоидно-химические свойства ряда эмульгаторов на базе ди- и полиаминов, четвертичных аммониевых основа-

ний (ЧАС), амидоаминов, имидозолинов и их смесей, разработана методика количественного определения адсорбции производных аминов на минеральном материале.

Изотермы адсорбции аминоксодержащих соединений, используемых в качестве эмульгаторов битумных эмульсий, на граните фракции менее 0.071 мм (удельная поверхность, определенная методом адсорбции паров бензола, равна $8 \text{ м}^2/\text{г}$) в зависимости от равновесной концентрации их в растворе представлены на рис. 1. Анализ приведенных данных показывает, что величина адсорбции ЧАС на поверхности гранита значительно ниже по сравнению с ди- и полиаминами. Это, по-видимому, обусловлено стерическим фактором: диффузия объемных катионов ЧАС к сорбционно активным центрам гранита затруднена, что препятствует образованию плотно упакованного адсорбционного слоя эмульгатора на его поверхности. Таким образом, по поверхностной и адсорбционной активности на межфазных границах исследованные реагенты образуют следующий ряд: алкилдиамины > алкилполиамины > соли четвертичных аммониевых оснований [2].

Высокая поверхностная активность и адсорбционная способность алкилпропилендиамин обуславливает, с одной стороны, более низкий его расход при получении битумных эмульсий, с другой – быстрый распад ее при контакте с минеральным материалом и высокую адгезионную прочность битумной пленки

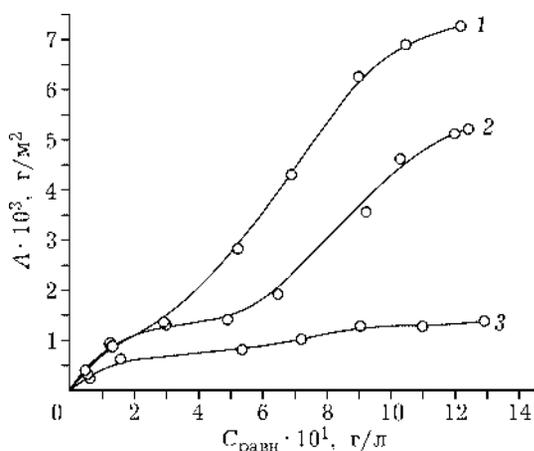


Рис. 1. Изотермы адсорбции ПАВ на поверхности гранита: 1 – диамин, 2 – полиамин, 3 – четвертичные аммониевые основания.

к твердой поверхности. Такие эмульгаторы используются в рецептурах быстро разрушающихся битумных эмульсий, например, для поверхностной обработки дорожных покрытий.

Эмульгаторы на основе производных полиаминов отличаются меньшей склонностью к адсорбции на минеральном материале, поэтому разрушение эмульсий, полученных с их применением, происходит несколько медленнее, что позволяет использовать их в технологиях, связанных с приготовлением эмульсионно-минеральных смесей в смесителях непосредственно на месте укладки. Эти эмульсии не разрушаются в течение определенного времени нахождения их в смесителе, а при укладке наблюдается их быстрый распад. Таким образом, для получения медленно разрушающихся битумных эмульсий используются эмульгаторы на базе полиаминов или их смеси с алкиламидами-имидазолинами [3].

Минеральные материалы

Адсорбция эмульгаторов на поверхности минерального материала зависит от минералогического состава материала, используемого при приготовлении эмульсионно-минеральных смесей.

Проведенные нами рентгенографические исследования компонентного состава пылевидных фракций гранитного щебня карьера Микашевичи позволили установить, что в их составе, наряду с тонкодисперсными фракциями гранита и кварцита, присутствуют глинистые и карбонатные минералы, удельная поверхность и сорбционный объем которых представлены в табл. 1.

Очевидно, что присутствие глинистых и карбонатных минералов, обладающих большой удельной поверхностью и большим количеством отрицательно заряженных сорбционно-активных обменных центров, приводит к повышенной адсорбции на них молекул эмульгатора, что вызывает быстрое разрушение битумных эмульсий. Это является одним из основных и определяющих факторов отрицательного влияния таких примесей на процессы структурообразования в эмульсионно-минеральных смесях.

ТАБЛИЦА 1

Структурно-сорбционные характеристики минеральных материалов

Минерал	Сорбционный объем	Удельная поверхность	Радиус макропор
	v_s , см ³ /г	$S_{уд}$, м ² /г	$r_{эф}$, нм
Монтмориллонит	0.135	140	1.9
Каолинит	0.035	34.6	2
Доломит	0.013	18.2	1.4
Гранит	0.009	8	24
Кварцит	0.008	15	10

На основании исследования взаимодействия ЧАС с гранитом и минеральными материалами, входящими в состав пылевидных фракций, установлено, что их адсорбция на глинистых минералах значительно выше, чем на граните, и изменяется в ряду “монтмориллонит > каолинит > доломит > гранит > кварцит”, что подтверждается рассчитанными адсорбционными характеристиками и результатами термогравиметрических измерений, выполненных методами дифференциально-термического анализа. Это позволило обосновать перспективность применения ЧАС и их солей в качестве стабилизаторов скорости распада эмульсионно-минеральных систем, которые используются для предотвращения нежелательного влияния пылевидных фракций на формирование пленки вяжущего на поверхности минерального материала. Такие ПАВ вводятся в состав эмульсионно-минеральной смеси на стадии смачивания минерального материала и вследствие относительно низкой адсорбционной активности по отношению к граниту легко десорбируются с его поверхности, закрепляясь на тонкодисперсных зернах минерального материала, прежде всего глинистого и карбонатного типов.

Одним из основных свойств битумных эмульсий, обеспечивающих их применимость в конкретной технологии дорожно-строительных работ, является их вязкость. Вязкость эмульсии должна быть такой, чтобы вяжущее не стекало в пониженные области и легко распределялось обычными гудронаторами.

Вязкость битумных эмульсий определяется, во-первых, природой дисперсной фазы, т. е. происхождением битума, его пенетрацией, а также присутствием пластификатора;

во-вторых, природой дисперсионной среды – типом и количеством ПАВ, наличием неорганического электролита; в третьих, гранулометрическим составом – размером частиц эмульгированного битума.

Очевидно, что вязкость битумных эмульсий зависит от количества содержащегося в ней битума. Однако необходимо учитывать и гранулометрический состав эмульсии. Чем мельче частицы дисперсной фазы, тем больше капелек эмульгированного битума находится в эмульсии при одном и том же его общем содержании и тем выше вязкость эмульсии. Для получения мелкодисперсной битумной эмульсии, наряду с изменением расхода эмульгатора, необходимо соблюдать оптимальный температурный режим при приготовлении водной и битумной фаз, а также регулировать свойства битумной фазы. В частности, изменяя структурно-реологические характеристики битумов введением разжижителей или полимеров, можно получить эмульсии с заданными физико-химическими свойствами для различных видов поверхностных обработок.

Фундаментальные исследования по изучению коллоидно-химических свойств ПАВ различных классов, проводящиеся в ИОНХ НАН Беларуси на протяжении ряда лет, тесное сотрудничество с дорожно-строительными организациями, отечественными и зарубежными научно-техническими центрами позволили накопить опыт, необходимый для разработки новых эмульгаторов нефтяных углеводородов, парафинов и битумов и внедрения прогрессивных энерго- и ресурсосберегающих технологий в дорожно-строительный комплекс Беларуси.

НОВЫЕ ЭМУЛЬСИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Технология устройства поверхностной обработки

Поверхностная обработка – это верхний слой дорожных “одежд”, состоящий из битумного вяжущего и фракционированного щебня. Для этой технологии следует использовать быстро распадающиеся катионные битумные эмульсии с содержанием битума 60–69 % (оптимально – 65 %). В зависимости от необходимой твердости покрытия и с учетом интенсивности движения выбирают различные конструкции шероховатого слоя. Важное значение имеет качество щебня, который должен иметь определенную форму, быть максимально чистым и не содержать глинистых примесей.

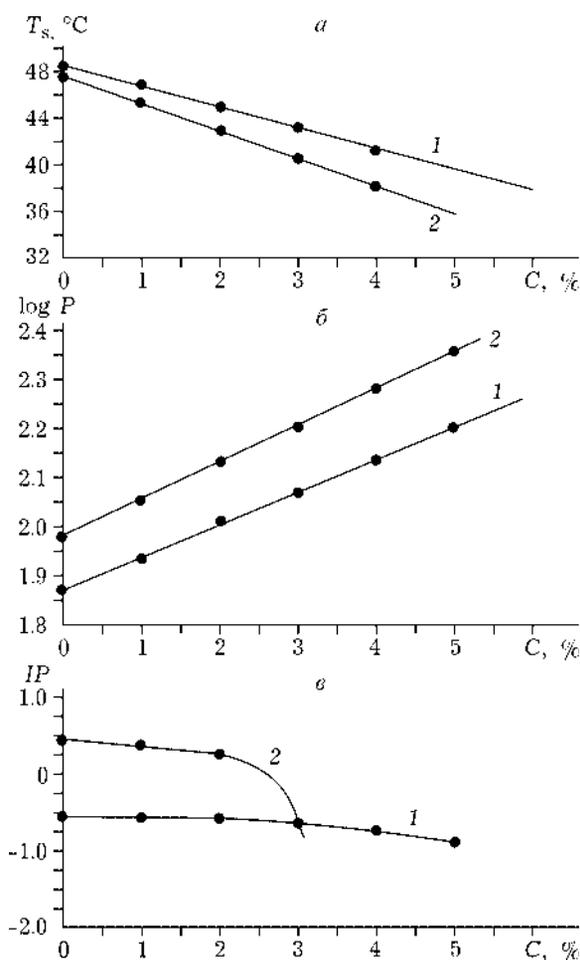


Рис. 2. Влияние расхода нефтяных фракций № 1 (1) и 2 (2) на коллоидно-химические свойства битумов: а – температура размягчения, б – пенетрация, в – индекс пенетрации.

В ИОНХ НАН Беларуси изучены групповой состав и физико-химические характеристики окисленных битумов Мозырьского и Новополоцкого заводов. Показано, что для битумов белорусских НПЗ характерны низкие кислотные числа: 0.245 и 0.395 мг КОН/г для битума Новополоцкого и Мозырьского заводов соответственно – и высокое содержание асфальтенов, что приводит к увеличению расхода эмульгатора при получении битумных эмульсий.

С целью регулирования качества дорожных битумов, используемых для получения битумных эмульсий, исследовано влияние некоторых нефтяных фракций на их свойства. Состав нефтяной фракции № 1, %: ароматические углеводороды 2–15, алканы 45–55, циклоалканы 50–60; во фракции № 2 содержание ароматических компонентов достигает 20 % при увеличении содержания парафинов средних и тяжелых фракций.

Кривые зависимости изменения физико-химических характеристик битума от концентрации введенной добавки представлены на рис. 2.

Битумы – это сложная коллоидная система, находящаяся в метастабильном состоянии, равновесие в которой обусловлено совокупностью многих факторов, прежде всего температурой и растворяющей способностью дисперсионной среды. Введение разжижителей нарушает коллоидное равновесие в системе, что проявляется в изменении структурно-реологических и физико-химических характеристик битума [4].

Из рис. 2 видно, что во всей исследуемой области с увеличением количества разжижителя наблюдается практически линейное снижение температуры размягчения (см. рис. 2, а) и логарифма пенетрации (см. рис. 2, б) битума, однако тангенс угла наклона прямой больше при введении нефтяной фракции № 2. Кроме того, при использовании этой добавки уже в области концентрации 2–3 % на кривой индекса пенетрации (см. рис. 2, в) наблюдается резкий перегиб, что свидетельствует об изменении коллоидной структуры битума.

В табл. 2 представлен групповой состав базовых битумов Мозырьского и Новополоцкого нефтеперерабатывающих заводов (МНПЗ и ННПЗ соответственно) и пластифицирован-

ТАБЛИЦА 2
Групповой состав битумов

Групповой состав, %	Битум			
	базовый (МНПЗ)	с добавкой № 1	базовый (ННПЗ)	с добавкой № 2
Масла				
Нафтно-парафиновые	14.4	16.3	10.2	16.2
Ароматические:				
моноциклические	11.5	12.5	13.3	13.8
бициклические	6.7	7.6	4.8	8.3
полициклические	7.5	8.0	16.4	4.5
Итого	40.1	44.4	44.7	42.8
Смолы				
Спирто-бензолные	4.5	6.3	15.1	4.0
Бензолные	31.3	23.6	15.2	33.0
Итого	35.8	29.9	30.3	37.0
Асфальтены				
	24.2	25.8	25.0	20.3

ных нефтяными фракциями № 1 и 2 битумов (количество добавки 5 %). Определение проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 11244–76.

Анализ приведенных данных показывает, что введение нефтяной фракции № 2 в дисперсионную среду битума способствует пептизации асфальтенов, в результате чего при осаждении петролейным эфиром (40/70) их относительное количество уменьшается, а коллоидная структура битума приближается к золевому типу. Поэтому при использовании более тяжелой нефтяной фракции № 2 ее количество в вязущем не должно превышать 1–2 %.

При введении в смесь парафино-нафтеновых углеводородов наблюдается уменьшение растворимости асфальтенов в дисперсионной среде битума. Это приводит к некоторому

увеличению их концентрации в дисперсионной фазе, в результате чего понижение индекса пенетрации битума происходит более плавно [5]. При использовании в качестве разжижителя легкой нефтяной фракции № 1 ее содержание можно варьировать в пределах 1–3 % без существенного изменения коллоидной структуры битума (см. рис. 2, в).

В табл. 3 приведены физико-химические характеристики битумных эмульсий, которые приготовлены на базовом битуме БНД 60/90 и битуме, пластифицированном 3 % нефтяных фракций № 1 и 2. Как видно, при введении низкокипящего компонента наблюдается увеличение среднего размера частиц эмульсии, и, следовательно, индекс распада эмульсии понижается. Однако обе эмульсии в зависимости от погодных-климатических условий и используемых материалов пригодны для

ТАБЛИЦА 3
Характеристики битумных эмульсий, приготовленных на пластифицированном битуме

Характеристика	Эмульсия, битумная фаза		
	А, битум БНД 60/90	В, битум с добавкой № 1	С, битум с добавкой № 2
Содержание вязущего, %	61.5	60.1	61.5
Вязкость, °Е	3.2	3.0	3.5
Индекс распада	89	78	96
Размер частиц, мкм:			
d_{50}	8.95	9.92	7.43
$D(3,2)$	5.3	4.95	4.6

ТАБЛИЦА 4

Характеристики остаточного вяжущего, выделенного из битумных эмульсий

Характеристика	Битум			
	Исходный	Выделенный из эмульсии		
		А	В	С
Температура размягчения по КиШ, °С	55.0	54.5	53.0	50.5
Пенетрация, ×0.1 мм	74	71	78	96

устройства поверхностных обработок, характеризуются низкой термочувствительностью (удовлетворяет критерию $\eta_{10}-\eta_{20} < 0.3\eta_{20}$ и $\eta_{20}-\eta_{40} < 0.3\eta_{20}$) и обеспечивают хорошую обволакиваемость минерального материала.

Эксплуатационные характеристики поверхностной обработки определяются типом вяжущего, используемого при ее устройстве. Вяжущее должно быть достаточно мягким, чтобы обеспечивать хорошую обволакиваемость щебня и первичную адгезию битума и в то же время достаточно вязким, чтобы предотвратить отрыв щебня и пластические деформации при эксплуатации дороги. Поэтому решающим критерием пригодности той или иной эмульсии на разжиженном битуме для устройства поверхностной обработки является оценка качества вяжущего, выделенного из эмульсии (табл. 4) [6].

Как видно, введение более тяжелой нефтяной добавки № 2 приводит к изменению реологических свойств вяжущего, выделенного из эмульсии, вплоть до изменения марки битума. Это, в свою очередь, замедляет формирование защитного слоя поверхностной обработки и ухудшает прочностные характеристики вяжущего. Поэтому в качестве разжижителей предпочтительнее использовать легкие нефтяные фракции.

Использование модифицированного полимера вяжущего позволяет значительно расширить диапазон применения поверхностных обработок на битумных эмульсиях благодаря повышению когезии вяжущего, особенно при низких температурах, и предотвращению выброса щебня, включая участки с движением тяжелого транспорта и автомагистрали.

Необходимо иметь в виду, что битумно-эластомерные эмульсии могут быть, во-пер-

вых двухфазного типа, принцип приготовления которых состоит в смешении битума, эмульгатора и латекса (латекс – эмульсия полимера в водной фазе), причем последний может вводиться в водную фазу битумной эмульсии при ее приготовлении или в готовую эмульсию перед ее использованием; во-вторых, эмульсии могут быть получены при использовании битума, предварительно модифицированного полимерами. До настоящего времени при эмульгировании модифицированного битума встречаются определенные затруднения. Получение модифицированных битумных эмульсий с использованием катионного бутадиен-стирольного латекса не вызывает затруднений и может широко использоваться на всех эмульсионных заводах.

На основании проведенных исследований в ИОНХ НАН Беларуси совместно с РУП БелдорНИИ разработаны рекомендации по устройству поверхностных обработок, утвержденные Комитетом автомобильных дорог Министерства транспорта и коммуникаций РБ.

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ТИПА СЛАРРИ СИЛ

Высокие эксплуатационные качества покрытий из эмульсионно-минеральных смесей, приготавливаемых непосредственно на месте укладки, достигаются при соблюдении всех технологических требований и созревании этих смесей в соответствующих погодных-климатических условиях.

Проектирование защитных покрытий из смесей типа Сларри Сил включает следующие этапы:

1. Подбор компонентного состава эмульсионно-минеральной смеси (прежде всего, ми-

нерального материала и битумной эмульсии), характеристики которой должны обеспечивать наилучшую совместимость ее с применяемым минеральным материалом.

2. Разработку рецептуры Сларри Сил, в том числе, с учетом возможности регулирования свойств смеси в процессе укладки.

3. Оценку физико-механических характеристик покрытия с целью обеспечения высоких эксплуатационных качеств защитного слоя.

Можно выделить пять основных стадий взаимодействия битумных эмульсий с минеральным материалом в процессе формирования вяжущего при устройстве защитных слоев дорожных покрытий типа Сларри Сил [7].

Первая стадия – смешение Сларри Сил в машине-укладчике. Битумная эмульсия не теряет устойчивости и взаимодействия с минеральным материалом не наблюдается. Это позволяет провести перемешивание всех компонентов системы без разрушения.

На **второй стадии** наблюдается коалесценция битумных капель эмульсии, т. е. уменьшение прослоек водной фазы между ними, и загущение смеси Сларри Сил на выходе из распределителя. Взаимодействие эмульсии с минеральным материалом на этой стадии имеет обратимый характер.

На **третьей стадии** идет образование битумной губчатой пленки, что связано с присутствием на поверхности битумных капель некоторого количества эмульгатора, а также избыточного количества эмульгатора (в том случае, когда его количество при производстве не оптимизировано и завышено) в водной фазе. Это происходит уже в процессе созревания Сларри Сил на дороге. Однако и эта стадия имеет обратимый характер, так как присутствие эмульгатора может привести к реэмульгированию битума в случае избыточного количества воды, влажной погоды, дождя и др.

Четвертая стадия характеризуется нарастанием когезионной прочности Сларри Сил на дороге за счет взаимодействия молекул эмульгатора с поверхностью минерального материала и образованием непрерывной битумной пленки. Происходит отделение воды и усадка смеси. В случае неблагоприятных погодных условий и в присутствии более активных компонентов в минеральном мате-

риале, на котором может произойти адсорбция ПАВ с битумной эмульсии, возможно образование рыхлой битумной пленки, что не приведет к нарастанию когезионной прочности.

Только на **пятой стадии** в случае отсутствия неблагоприятных условий, описанных в первых четырех стадиях, образуется сплошная битумная пленка, происходит уплотнение смеси с высокой когезионной прочностью.

Таким образом, скорость формирования покрытий из эмульсионно-минеральных смесей определяется процессами перераспределения ПАВ на границах раздела фаз битум – минеральный материал. Для разработки оптимальных составов эмульсионно-минеральных смесей в ИОНХ НАН Беларуси исследовано влияние природы эмульгатора и стабилизатора скорости распада, ионной силы раствора на скорость формирования покрытий, что позволило выработать обоснованные требования к подбору оптимальных систем ПАВ: “эмульгатор – стабилизатор скорости распада” – с учетом используемых сырья и материалов. Разработан технологический регламент производства битумных эмульсий с регулируемой скоростью распада. Защищены патентами РБ новые катионные эмульгаторы на основе диаминов и оксиэтилированных аминов и стабилизатор скорости распада битумно-латексной эмульсии на основе оксидов алкиламинов, используемый при приготовлении эмульсионно-минеральной смеси для устройства защитных слоев износа типа Сларри Сил.

Опыт работы Института общей и неорганической химии НАН Беларуси по созданию технологии устройства защитных слоев дорожных покрытий типа Сларри Сил для Минска и мониторингу их состояния позволил разработать “Рекомендации по технологии производства работ по устройству защитных слоев дорожных покрытий из холодных эмульсионно-минеральных смесей”, которые были утверждены Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь 22.07.1997 г.

По разработанной технологии на улицах Минска уложено более 1 000 000 м² защитных слоев. Вынос минерального материала из защитного слоя в течение двух лет не превышал 20–30 %, разрушения основного ас-

фальтобетонного полотна после пятилетней эксплуатации реконструированных дорог не наблюдалось. В настоящее время проводятся работы по устройству защитных слоев дорожных покрытий типа Сларри Сил на магистральных автодорогах Беларуси.

Гравийно-эмульсионные смеси

Внедрение в практику дорожного строительства технологии производства складированных эмульсионно-минеральных смесей различных типов потребовало разработки специальных рецептур битумных эмульсий, составов гравийно-эмульсионных смесей (ГЭС) и смесей для ямочного ремонта дорожных покрытий на основе местных материалов, методов оценки их структурно-механических характеристик [8].

Гравийно-эмульсионная смесь представляет собой битумно-минеральную смесь холодного типа на основе дробленого минерального заполнителя непрерывного зернового состава, преимущественно песчано-гравийного, медленнораспадающейся битумной эмульсии и воды. В некоторых случаях используются различные активные и неактивные добавки.

В Институте общей и неорганической химии НАН Беларуси разработаны рецептуры битумной эмульсии для ГЭС, на основании которых выпущено более 30 000 т эмульсии для гравийно-эмульсионных смесей. Кроме того, совместно с ИОНХ НАН Беларуси и отраслевым РУП БелдорНИИ проведены испытания песчано-гравийных смесей из карьеров, используемых дорожными организациями Минской области, и разработаны рекомендации по технологии получения и применения гравийно-эмульсионных смесей.

В результате проведения опытно-промышленных испытаний установлено следующее.

1. Гравийно-эмульсионные покрытия толщиной 50–60 мм, устроенные по гравийному основанию, обладают достаточной несущей способностью для пропуска движения и нагрузок, соответствующей IV–V категориям автомобильных дорог.

2. В экономическом плане гравийно-эмульсионные покрытия толщиной 6.0 см со слоем одиночной поверхностной обработки дешевле

горячего покрытия из пористой смеси с поверхностной обработкой на 8–15 %.

3. Затраты топлива и энергии в расчете на единицу конечной продукции при устройстве гравийно-эмульсионных покрытий в сравнении с горячим асфальтобетоном ниже на 45–55 %.

4. Возможность выдерживания смеси на складе и полная экологическая чистота являются дополнительными преимуществами гравийно-эмульсионной технологии.

5. В процессе эксплуатации под нагрузкой через 3–4 месяца от момента открытия движения повышаются свои прочностные свойства ГЭС увеличиваются на 60–70 % и достигают абсолютных величин, свойственных горячему асфальтобетону. Следует особо отметить, что указанные прочностные показатели достигаются при содержании вяжущего 4.5–5.5 %, тогда как для асфальтобетона это содержание составляет 5–9 %.

Полученные результаты позволяют утверждать, что смеси типа гравийных эмульсий на основе местных заполнителей могут быть конкурентоспособными по отношению к горячим асфальтобетонным смесям и должны найти применение при строительстве дорог, особенно в сельской местности.

Холодные складированные эмульсионно-минеральные смеси для ямочного ремонта

Складированные эмульсионно-минеральные смеси для ремонта дорог привлекают внимание дорожно-строительных организаций благодаря присущим им достоинствам, связанным с возможностью их длительного хранения на складах в широком диапазоне температур, полной автономностью строительных работ независимо от расположения базы-производителя и возможностью проведения работ в зимнее время.

Холодные смеси на битумных эмульсиях имеют следующие преимущества:

- допускается использование влажного каменного материала;
- экономится от 10 до 30 % битума за счет улучшения обволакиваемости каменного материала эмульсией;
- приготовление и укладка могут выполняться при неблагоприятных климатических условиях;

- благодаря активности эмульсии, усиливаются адгезионно-когезионные свойства битума;
- обеспечивается равномерное распределение вяжущего по всей поверхности каменного материала благодаря образованию тонкой битумной пленки, обволакивающей каждое минеральное зерно;
- улучшаются адгезионные свойства битума, так как вязкость эмульгированного битума в сравнении с обычным с понижением температуры возрастает;
- упрощается технология производства работ.

В ИОНХ НАН Беларуси разработана эффективная технология приготовления и применения складированных эмульсионно-минеральных смесей на основе битумных эмульсий с адгезионными добавками и фракционированного щебня, используемых для круглогодичного ремонта дорожных покрытий [9].

В настоящее время такие смеси широко используются для ямочного ремонта многими дорожно-строительными организациями республики. В частности, КПРСУП “Гомельоблдорстрой” по такой технологии выполнено более 350 000 м² ямочного ремонта дорожных покрытий.

Всего за пять лет с начала внедрения перечисленных технологий только по Минской области сэкономлено 151,7 тыс. м³ щебня и 9090 т битума. Кроме того, сэкономлено топливно-энергетических ресурсов: котельно-печного топлива – 1246 т условного топлива, электроэнергии – 2198 000 кВт·ч, теплоты – 706 Гкал.

В деньгах эта экономия выглядит так: по поверхностной обработке – 28 центов (36 %), на мембранной технологии 2,03 долл. США (30,8 %), на гравсмесях 0,81 долл. (21,5 %), на покрытиях из асфальтогранулобетона 1,8 долл. (47,7 %) на квадратный метр.

Кроме того, необходимо подчеркнуть, что внедрение новых технологий обеспечивает и повышение уровня безопасности движения на дорогах. Фактически существующий коэффициент сцепления автомобильного колеса с поверхностью дорожного покрытия на автодорогах в республике составил примерно 0,33–0,38, после устройства слоев износа на битумных эмульсиях – 0,6–0,71. Это говорит о росте уровня безопасности движе-

ния почти на 50 %. Уменьшается воздействие и на экологическую среду, так как при использовании эмульсии в воздух выбрасываются только пары воды.

Уровень шума на асфальтобетонных покрытиях достигает 80 дБ, при использовании фракции щебня 5–20 мм – 88 дБ, при устройстве слоев износа на битумных эмульсиях и щебне 6,3–10 мм – 77 дБ. Использование щебня фракции 4–6,3 мм позволяет снизить уровень шума до уровня, соответствующего нормам для населенных пунктов в странах Западной Европы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые технологии предполагают и новый подход к качеству работ. Следует подчеркнуть, что успешное внедрение новых энерго- и ресурсосберегающих технологий на основе битумных эмульсий возможно только при выполнении комплекса технических, научных, организационных мероприятий, а именно:

1. Использование высококачественных исходных материалов (битума, фракционированного кубовидного щебня, эмульгаторов).
2. Применение новых материалов и технологий требует специальных машин и механизмов. С целью экономии валюты, необходимой для приобретения импортной дорогостоящей техники, ПРСО “Минскоблдорстрой” организовал на предприятии “Дорвектор” (г. Молодечно) производство отечественной техники: автогудронаторов АГДС-3600, предназначенных для транспортирования и распределения битумных материалов (битума, битумных эмульсий), как в горячем, так и в холодном состоянии, и щебнераспределителей навесных ЩРДС-1400 и прицепных ЩРД-3,5, предназначенных для распределения упорядоченным слоем сыпучих инертных материалов при устройстве поверхностной обработки автомобильных дорог с твердым покрытием, фрезерной дорожной установки ФУД 0,4 и др. С 1998 г. организации Минской области применяют для проведения ремонта дорожного покрытия методом пропитки битумной эмульсией следующую технику: 1) патчерную установку, смонтированную

на тракторном самосвальном прицепе 2-ПТС-4; 2) комплект оборудования для ямочного ремонта асфальтобетонного покрытия БЦМ-24 производства ЗАО “Бицема” (Россия). В настоящее время налажено производство собственной установки для ямочного ремонта УДВ-2000. Успешно в этом направлении работает и ПРСО “Гомельоблдорстрой”. На его предприятиях также налажен выпуск машин для ямочного ремонта по патчерной технологии и автогудронаторов для поверхностной обработки.

3. Необходима разработка новых рецептур битумных эмульсий, их оптимизация за счет внедрения новых эмульгаторов, сравнительный анализ экономической и технологической эффективности известных и разрабатываемых отечественных и зарубежных эмульгаторов с целью снижения затрат на производство битумных эмульсий.

4. Следует расширить использование в дорожной отрасли холодных энерго- и ресурсосберегающих технологий на основе битумных эмульсий, в частности для ямочного ремонта, укрепления грунтов, связывания пыли, устройства поверхностных покрытий типа Сларри Сил, холодного рециклинга асфальтобетонных покрытий и др.

Учитывая преимущества холодных технологий, следует, во-первых, обеспечить переход в технологиях поверхностных обработок асфальтобетонных покрытий на эмульсионные технологии на двух фракциях мелкого кубовидного щебня, что позволит сократить расходы на ямочный ремонт, снизить удельный расход щебня, удлинить срок службы поверхностных обработок; во-вторых, при капитальном ремонте цементобетонных покрытий заменить прямое их усиление двухслойным асфальтобетоном на мембранную технологию на модифицированном битуме либо на гравийно-эмульсионную технологию с устройством тонкослойного покрытия или двойной поверхностной обработки; в-третьих, при капитальном ремонте гравийных покрытий полностью перейти на устройство замыкающих слоев, используя гравийно-эмульсионную технологию и укрепление эмульсией; в четвертых, основную массу ремонтного асфальтобетона производить по холодной технологии, что позволит полностью исключить расход топоч-

ного мазута и снизить затраты по амортизации установки для его производства; в пятых, при производстве гравийно-эмульсионных смесей использовать простейшее смешительное оборудование высокой единичной мощности для снижения стоимости амортизационных затрат.

5. Доля эмульсионных технологий в дорожном строительстве должна составлять 27–30 %, а для устройства слоев сцепления, поверхностной обработки и ямочных ремонтов – 100 %.

6. Должна быть создана система контроля качества при выполнении работ по эмульсионным технологиям, необходимо обеспечивать постоянное научное сопровождение этих работ (в ведущих западно-европейских странах оно уже существует), что позволит избежать ошибок при использовании битумных эмульсий. Внедрение новых технологий требует более высокой культуры производства, постоянного повышения квалификации обслуживающего персонала (работающих), наличия современного лабораторного оборудования, изучения зарубежного опыта

Все затраты на эти мероприятия многократно окупаются благодаря преимуществам холодных технологий, о чем свидетельствует отечественный и мировой опыт.

Успех и эффективность работы дорожной отрасли во многом зависит от масштаба и глубины научно-технических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 О. Н. Опанасенко, Н. П. Крутько, О. И. Старостина, Л. В. Овсеенко, *Докл. АН Беларуси*, 40, 3 (1996) 76.
- 2 O. N. Opanasenko, O. I. Starostina, L. V. Ovseenko, V. T. Kudelko, *Emulsifiants cationiques pour la fabrication des emulsions de bitume*, Deuxieme Congress Mondial de l'emulsion: Congress proc., Bordot, 1997, vol. 1, p. 102.
- 3 О. И. Старостина, О. Н. Опанасенко, Л. В. Овсеенко, Ю. В. Лобода, *Грав-эмульсионные смеси для дорожного строительства: Сб. тр. «Вибротехнология-98»*, Одесса, вып. 8, ч. 2, с. 68–70.
- 4 О. Н. Опанасенко, Л. В. Овсеенко, О. И. Старостина, *Битумные эмульсии для дорожного строительства: Методы анализа*, Белсэс, Минск, 1999, 38 с.
- 5 О. Н. Опанасенко, Н. П. Крутько, Л. В. Овсеенко, О. И. Старостина, *Рекомендации по производству работ по устройству защитных слоев дорожных покрытий из холодных эмульсионно-минеральных смесей*, Белсэс, Минск, 1999, 36 с.

- 6 O. N. Opanasenko, L. V. Ovseenko, O. I. Starostina *et al.*, The Influence of Petroleum Distillate on the Structural-Rheological Performance of Bitumen Binders. Eurobitume, Workshop Briefing, Luxembourg, 1999, No. 011.
- 7 O. N. Opanasenko, N. P. Krutko, L. V. Ovseenko, O. I. Starostina, The Influence of the Properties of Bitumen on the Physical-Chemical Characteristics of Bitumen Emulsions, Proc. of the Int. Symp. on Asphalt Emulsion Technology, Nov. 11–14, 1999, Washington, 1999, pp. 95–101.
- 8 N. P. Krutko, O. N. Opanasenko, O. I. Starostina, L. V. Ovseenko, The Use of Emulsion-Mineral Mixes for Road Building in Belarus, *Ibid.*, pp. 161–166.
- 9 Н. П. Крутько, О. Н. Опанасенко, О. И. Старостина и др., Катионные ПАВ – эффективные эмульгаторы нефтяных углеводородов, В сб.: Синтез, структура и свойства неорганических веществ и коллоидных систем, Минск, 2000, с. 50–58.