

УДК 622.271.7, 625.852

**А.А. Христофорова, М.Д. Соколова, С.Э. Филиппов,
Б.Н. Заровняев, И.Н. Гоголев**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ
И МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК ПРИРОДНОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАРЬЕРНЫХ
ДОРОГ***

Представлены результаты разработки состава дорожной одежды технологических дорог крутонаклонных выработок на нижних горизонтах с применением в покрытии резиновой крошки из отходов шин и песчано-гравийной смеси (ПГС). Для усиления взаимодействия резиновой крошки с дорожным битумом предложено применение механоактивации с нанонаполнителем — природным цеолитом. Установлено, что применение ПГС в качестве минеральной основы для асфальтобетонных смесей является вполне возможным, в случае применения битума, модифицированного резиновой крошкой активированной совместно с цеолитом.

Ключевые слова: нижние горизонты карьеров, технологические карьерные дороги, асфальтобетон, резиновая крошка, цеолит, механоактивация, коэффициент сцепления с дорогой.

Постепенное истощение минерально-сырьевой базы полезных ископаемых при сохранении открытого способа разработки как генерального направления развития горнодобывающих отраслей промышленности России влечет за собой рост глубины горных работ, переход некоторых карьеров в разряд сверхглубоких. Опыт открытой разработки алмазных месторождений показывает, что глубина практически всех отрабатываемых карьеров неоднократно пересматривалась в сторону ее увеличения [1, 2]. При этом непременно встает вопрос транспортирования руды и пород вскрыши с нижних гори-

зонтов на поверхность по наклонным и крутонаклонным съездам. Как правило, дороги зоны интенсивной углубки по технологическим параметрам карьера должны конструироваться со значительно большим уклоном, до 30—37 град. При генеральном угле откоса карьера более 50 град. (рис. 1).

В этих условиях на первый план встает проблема эффективности и безопасности работы транспорта, которая может быть решена путем создания дорожного полотна, обеспечивающего повышенное сцепление колес транспорта с дорогой и снижающего пылеобразование. Предлагается

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках комплексного проекта № 2010-21801-001 по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения.

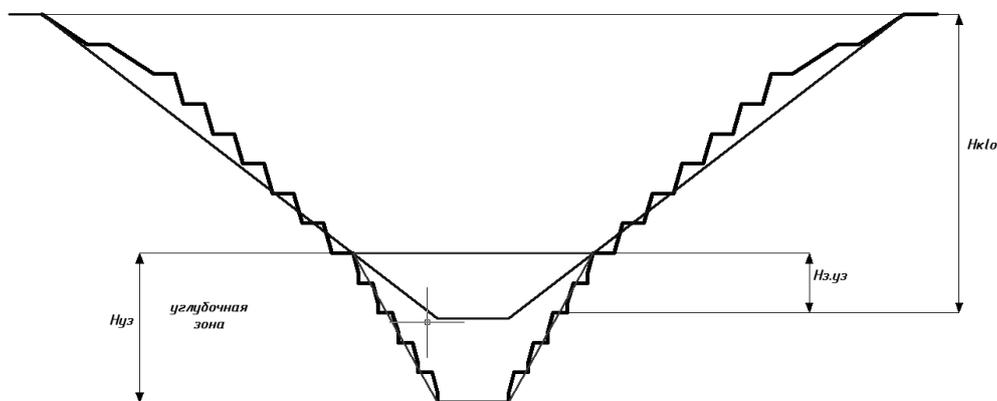


Рис. 1. Конструкция борта карьера с применением крутонаклонных съездов

применять в качестве покрытия технологических дорог углубочной зоны карьеров, асфальтобетон на основе двух видов многотоннажного сырья: песчано-гравийной смеси, вырабатываемой на местных карьерах и дроблёной резины из отработанных автопокрышек.

Основные эффекты использования резиновой крошки в дорожно-строительных материалах [3, 4]: уменьшение образования низкотемпературных трещин, защита дорожных покрытий от проникновения воды, высокий коэффициент сцепления с колесами автомобилей, повышение приживаемости каменного материала, понижение пылеобразования. Учет перечисленных факторов позволяет обосновать эффективность применения резиновой крошки в составах дорожного покрытия технологических дорог нижних горизонтов карьеров.

Наиболее перспективным направлением при использовании резиновой крошки в асфальтобетоне является модификация вяжущего. Простейшим способом является прямое введение в битум резиновой крошки, однако ма-

териалы, полученные таким образом, зарекомендовали себя с негативной стороны. Асфальтобетон, полученный с применением этих вяжущих подвержен быстрому старению и разрушению из-за выслаивания резиновой крошки, несвязанной с битумом прочными связями.

Указанные недостатки можно устранить путем модификации резиновой крошки перед введением в битум для образования развитого межфазного слоя на границе раздела фаз «резиновая крошка — битум» и повышения адгезии вяжущего к минеральным составляющим асфальтобетона.

В качестве минерального модификатора выбран природный цеолит (преимущественно натриевого состава). В Республике Саха (Якутия) имеются богатые месторождения цеолитов, причем они располагаются в тех же районах, что и алмазные. Относительно малое содержание примесей, высокая термическая стойкость якутских цеолитоносных горных пород (наиболее освоенный пласт Хонгурия — III имеет преимущественно натриевый состав, а цеолиты с одновалентными катионами

более термостойки, чем с двухвалентными) в сочетании с невысокой стоимостью делают природные цеолиты перспективным модификатором разнообразных полимерных материалов [5, 6]. Показано [7], что применение цеолита в композиционных материалах на основе резины, способствует образованию развитого переходного слоя между компонентами. При их введении в матрицу происходит увеличение модуля упругости, прочности, повышение термической стабильности и устойчивости к горению, улучшение электростатических свойств.

Для лучшего смешения и активации модификаторов битума проведена предварительная механоактивация резиновой крошки совместно с цеолитом на планетарной мельнице АГО-2. Мельницы-активаторы такого типа, обеспечивают очень высокий уровень энергетического воздействия на материал (до 60g), что обеспечивает интенсивную поверхностную активацию при сохранении ценных эластических свойств в объеме резины. Режим выбран на основании ранее проведенных работ [8].

Процесс механоактивации резин не сводится только к измельчению материала, при этом протекают и химические процессы (окисление, деструкция, вторичное структурирование). В работе [8] показано, что при механоактивации происходит миграция низкомолекулярных веществ, входящих в состав резиновой смеси (в частности серы), к поверхности резиновой крошки. При этом удельная поверхность увеличивается практически в 2 раза. Применение механоактивации позволяет уменьшить размеры резиновой крошки (рис. 2), кроме того происходит сни-

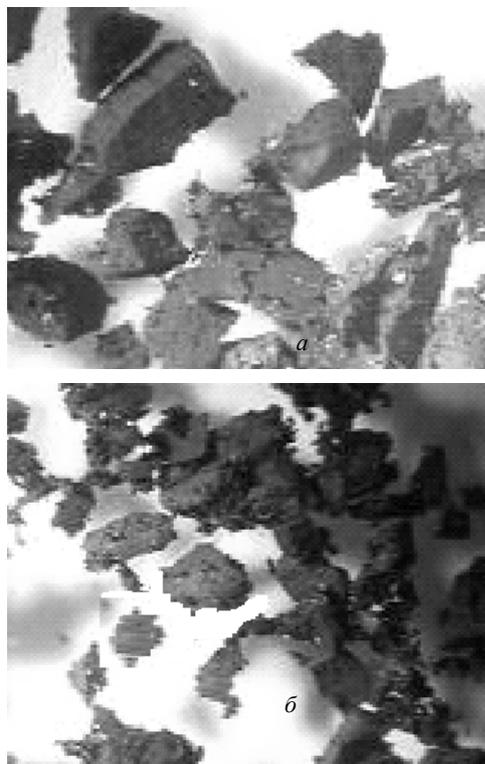


Рис. 2. Поверхность резиновой крошки (оптический микроскоп МБС-10, х 8): а — неактивированной, б — механоактивированной

жение доли зеркальных и увеличение неровных участков на поверхности, образуются следы механического воздействия в виде расслоения частиц. Проведенные исследования показали, что механоактивация усиливает модифицирующее действие резиновой крошки в матрицах, в которые она вводится.

Для асфальтобетонов на основе битумов, наряду с влиянием свойств вяжущего материала, важное значение имеют особенности взаимодействия вяжущего с поверхностью минеральных зерен. Поэтому при проектировании дорожного полотна следует учитывать разнообразие генезиса каменных материалов.

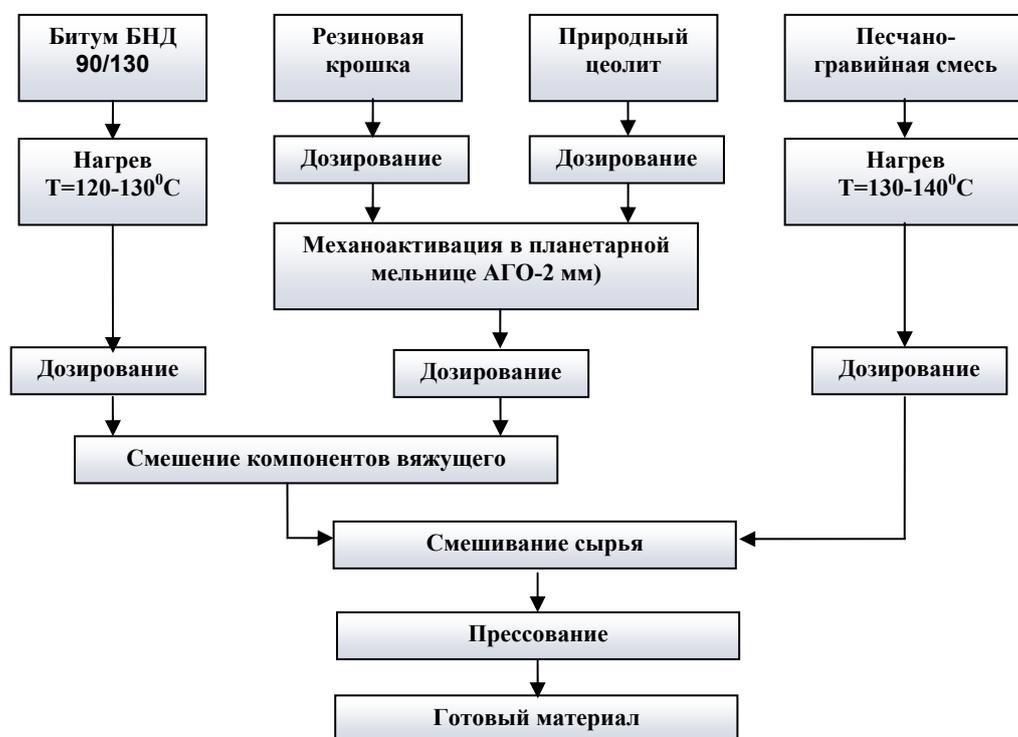


Рис. 3. Технологическая схема изготовления образцов

Верхние слои дорожных одежд, как правило, проектируют с применением щебня — минерального материала, получаемого путем дробления скальной или горной породы. Он характеризуется прочностью, морозостойкостью, имеет различный зерновой состав (по ГОСТ 8267-93). Для проектирования и строительства собственных технологических и других дорог весьма актуальным для горнодобывающих предприятий, удаленных от промышленных центров регионов, является замещение щебня на каменные материалы местного производства.

Основываясь на «Методических рекомендациях по строительству дорожных одежд с основаниями из битумо-минеральных смесей и мест-

ных каменных материалов, укрепленных малоактивными вяжущими или малыми дозами цемента», предложено разработать асфальтобетонную смесь с применением местных каменных материалов (песчано-гравийной смеси ПГС), получаемых при выработке карьеров. В данной работе использовали песчано-гравийную смесь, вырабатываемую на алмазодобывающем карьере Накынского рудного поля РС (Я) (Нюрбинский карьер).

Для исследований возможности применения ПГС в составе асфальтобетона, были исследованы основные характеристики асфальтобетонных образцов, изготовленных по технологической схеме, представленной на рис. 3. Проведена сравни-

Таблица 1

Физико-механические характеристики асфальтобетона на основе стандартного сырья и песчано-гравийной смеси выработки рудника

Состав асфальтобетона	ρ_m , г/см ³	ρ_m^M , г/см ³	$V_{пор}^M$, %	$V_{пор}^0$, %	W, %	$R_{сж}$, МПа	R_p , МПа
Асфальтобетон на основе щебня	2,195	2,052	13,28	7,21	1,62	3,70	3,84
Асфальтобетон на основе ПГС	2,209	2,064	21,79	16,32	1,39	5,25	1,79
Асфальтобетон на основе ПГС и битума, модифицированного резиновой крошкой с цеолитом	2,186	2,043	22,61	17,19	1,80	5,09	0,95
Асфальтобетон на основе ПГС и битума, модифицированного активированной резиновой крошкой с цеолитом	2,228	2,082	21,11	15,58	1,52	6,02	1,02

Примечание. ρ_m — средняя плотность уплотненного материала, ρ_m^M — средняя плотность минеральной части, $V_{пор}^M$ — пористость минеральной части, $V_{пор}^0$ — остаточная пористость, W — водонасыщение, $R_{сж}$ — предел прочности при сжатии, R_p — предел прочности на растяжение при расколе.

Таблица 2

Коэффициент сцепления дороги в зависимости от состава дорожного покрытия

Показатель	Асфальтобетон на основе битума без модификатора	Асфальтобетон на основе битума, модифицированного активированной резиновой крошкой с цеолитом
Коэффициент сцепления дороги на:		
сухом покрытии	0,30	0,42
влажном покрытии	0,28	0,33

тельная характеристика полученных результатов с результатами исследований асфальтобетона на основе щебня (табл. 1).

Из представленных данных видно, что применение ПГС в качестве минеральной основы для асфальтобетонных смесей является вполне воз-

можным, в случае применения битума, модифицированного резиновой крошкой активированной с цеолитом. По некоторым характеристикам (водонасыщение, предел прочности при сжатии) смеси на основе ПГС превосходят аналоги на 30 %. Это может компенсировать недостатки

других показателей (пористость, предел прочности на растяжение при расколе).

Для разработанного состава асфальтобетона определялся коэффициент сцепления дорожного покрытия с колесами автотранспорта. Покрытие изготовлено по 2 рецептурам:

- асфальтобетон на основе битума без резиновой крошки
- асфальтобетон на основе битума модифицированного активированной резиновой крошкой с цеолитом

В табл. 2 приведены результаты испытаний по определению коэффициента сцепления дорожного покрытия. Коэффициент сцепления определяли с помощью измерителя ИКСП-М [9], предназначенного для измерения показателя при строительстве и ремонте автомобильных дорог, периодическом и текущем контроле состояния дорожных покрытий.

В работе использовались нестандартные методики, что позволяет провести только сравнительный анализ.

Видно, что коэффициент сцепления с дорогой на сухом и влажном асфальтобетоне, модифицированном резиновой крошкой, соответственно выше на 40 % и 18 % по сравнению с базовым асфальтобетоном.

Таким образом, суммарный эффект от замещения щебня на ПГС для строительства технологических карьерных дорог будет во много раз превышать затраты:

- разработанный состав можно применить на участках углубочной зоны карьера с повышенным углом наклона технологических дорог;
- применение сырья собственного производства позволит значительно снизить транспортные расходы;
- применение в качестве основного сырья техногенных отходов (изношенные шины в виде резиновой крошки) и отходов производства ПГС будет способствовать снижению техногенного воздействия на окружающую среду;
- производство асфальтобетона может быть организовано без усложнения технологической схемы, на стандартном оборудовании;
- разработка состава асфальтобетонной смеси, модифицированного природными цеолитами, производимыми в Республике Саха (Якутия), внедрение в массовое производство и информирование широкого круга целевых потребителей за пределами Республики, может способствовать продвижению реализации как готовых изделий с улучшенными свойствами, так и добавок на основе якутского цеолита.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов П.И., Глебов А.В., Фурин В.О., Ворошилов А.Г. Необходимость создания новых углубочных комплексов для кимберлитовых карьеров Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — №3. — С. 277—282.

2. Сытенков В.Н., Абдуллаев У.М. Разработка сценария развития карьера «Мурунтау» на длительную перспективу // Горный

журнал. — 2002. Специальный выпуск. — С. 45—50.

3. Лаврухин В.П., Калгин Ю.И. Свойства асфальтобетонов на модифицированных битумах // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2002. — № 1. — С. 14—17.

4. Хафизов Э.Р., Хабибуллина Э.Н., Брехман А.И. О некоторых свойствах асфальтобетона на битумполимерном вяжущем.

шем. // Материалы II Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера». Казань: КГТУ им. А.Н.Туполева. -2001. — С 121.

5. Герасимова В.Н. Природные цеолиты как адсорбенты нефтепродуктов // Химия в интересах устойчивого развития. — 2003. — №3. — С. 481—488.

6. Горяинов С.В., Белицкий И.А. Природные цеолиты России // Тез. докл. Респ. совещания 25-27 ноября 1991г. Новосибирск. — 1992. — том 1. — С. 62.

7. Соколова М.Д., Давыдова М.Л., Шадринов Н.В. Технологические приемы, обеспечивающие повышенную структурную активность цеолита в полимерэластомерных композициях // Каучук и резина. — 2010. — N 6. — С. 16—20

8. Христофорова А.А., Соколова М.Д. Механоактивационный способ обработки измельченных вулканизатов// Химия в интересах устойчивого развития — 2009. — № 4, С 435—438.

9. <http://www.rdt.ru/node/106>. **ТИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Христофорова Александра Афанасьевна — научный сотрудник,
e-mail: a_khristoforova@mail.ru,

Соколова Марина Дмитриевна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
e-mail: marsokol@mail.ru,

Институт проблем нефти и газа СО РАН,

Филиппов Семен Эдуардович — ассистент, E-mail: filippov_semen@mail.ru,

Заровняев Борис Николаевич — доктор технических наук, профессор,
e-mail: mine_academy@mail.ru,

Гоголев Илья Николаевич — аспирант, e-mail: Lokg_87@mail.ru,

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.



**РУКОПИСИ,
ДЕПониРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»**

ДОЛЛАРИЗАЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ И ВНЕШНИЕ ВАЛЮТНЫЕ ИНТЕРВЕНЦИИ

(№ 923/11-12 от 03.09.12, 15 с.)

Анищенко А.В. — преподаватель, e-mail: anpvladimir@list.ru
Московский университет Министерства внутренних дел РФ.

DOLLARIZATION NATIONAL ECONOMY AND FOREIGN CURRENCY INTERVENTION

Anishenko A.V.