

УДК 666.964.3

# АКТИВАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

ACTIVATION OF MINERAL MATERIALS  
IN ASPHALT MIX PRODUCTION

*В статье рассмотрены различные способы активации минеральных материалов. Описаны их достоинства и недостатки.*

*The article covers different ways of mineral materials activation. Their advantages and disadvantages are described.*

## ВВЕДЕНИЕ

Перспективы развития топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь обуславливают необходимость повышения эффективности использования местных топливных ресурсов, включая разработку и реализацию наукоемких технологий их комплексной переработки. Это требует совершенствования управления научной сферой нашей страны, предусматривающей концентрацию научного потенциала и материально-технической базы науки на приоритетных направлениях развития науки и экономики. Особое внимание рекомендуется уделять развитию фундаментальных и прикладных научных исследований в тех направлениях, где сырьевая база и природные ресурсы составляют основу технического прогресса многих отраслей экономики.

В складывающейся экономической и политической ситуации, в контексте изменений на рынке энергоносителей, нельзя оставить без внимания существенное влияние цен на нефтепродукты на экономические показатели работы дорожной отрасли. Ежегодно дорожными хозяйствами и предприятиями республики для выполнения ремонтных, дорожно-строительных работ и производства

**С.С. Будниченко,**  
аспирант, ассистент кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь

**Я.Н. Ковалев,**  
доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь

**Е.И. Гойч,**  
студентка факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь

**Д.А. Михаленок,**  
студентка факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь

дорожно-строительных материалов используется огромное количество горюче-смазочных материалов, битума и газа. Эта «нефтяная» составляющая занимает значительную часть в сметной стоимости производства работ и изготовления материалов. Таким образом, используя современные энергоэффективные машины и механизмы, внедряя новые технологии производства и применяя местные материалы, можно достигнуть значительной экономии топливно-энергетических ресурсов и снизить затраты.

Известно, что для увеличения сроков службы дорожных сооружений и снижения стоимости этих объектов (особенно при широком применении местного сырья и техногенных отходов производства), необходимо разрабатывать промышленные активационные методы и устройства для повышения качества используемых дорожно-строительных материалов. Большой вклад в решение этой проблемы на разных этапах и в различных аспектах внесли Л.Б. Гезенцевей, И.А. Рыбьев, Н.Н. Иванов, Я.Н. Ковалев, В.К. Соломатов, Н.В. Горельшев и др.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АКТИВАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОДУКТАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ТОРФА

С ежегодным ростом интенсивности движения на автомобильных дорогах возникает необходимость применения более эффективных материалов, позволяющих существенно увеличить срок службы асфальтобетонных покрытий. В Респу-

блике Беларусь основным поставщиком каменных минеральных материалов для дорожного строительства является карьер Микашевичи (РУПП «Гранит»). Но для гранитов карьера Микашевичи характерно высокое содержание кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ), которое колеблется от 65 до 78 мас. %, что обуславливает кислый характер данной породы [1] и малую активность поверхности этого материала по отношению к окисленным битумам [2].

Структура асфальтобетона определяется пространственным расположением зерен минеральной составляющей и интенсивностью их взаимодействий с вяжущим веществом (битумом) [3]. Следовательно, должно быть достигнуто макси-

мальное и прочное взаимодействие органических вяжущих с минеральными компонентами асфальтобетона. Осуществить это можно либо путем мощного физико-механического воздействия, теория которого разработана в трудах Л.Б. Гезенцвея [4] и Я.Н. Ковалева [5], либо путем направленного применения поверхностно-активных веществ, модифицирующих зону контакта битума с минеральными материалами. Основываясь на анализе нереагентных методов обработки для органических вяжущих, минеральных материалов и их смесей, можно выделить следующие основные апробированные способы активации (таблица 1).

Таблица 1 - Способы активации компонентов асфальтобетона и асфальтобетонной смеси

Вид материала	Способ активации	Эффект
Битум и другие органические вяжущие	Тепловая обработка	Повышение подвижности молекул в зоне контакта
	Гидродинамическая кавитация Воздействие силовых полей	Деформация смолисто-асфальтовых комплексов и освобождение активных радикалов от масляных экранов
	Электромагнитные поля	Переориентация полярных звеньев молекул вяжущего
	Ультразвуковая обработка	Разрушение асфальтовых с образованием свободных радикалов
	Радиационное воздействие	Ионизация молекул
	Электрогидравлический эффект. Комбинированная электроимпульсная обработка	Крекинг молекул битума, изменение его группового состава
Минеральные материалы	Механическая обработка (дробление)	Аморфизация кристаллов поверхности материала
	Трибоэлектрическая обработка	Придание поверхности минеральных материалов электрических зарядов заданного знака
	Электрогидравлический эффект (дробление)	Образование на поверхности химически активных комплексов
	Электромагнитные поля и коронный разряд	Наведенный электрический заряд на поверхности
	Электризация в вихревом слое	Электризация частиц материала
Асфальтобетонная смесь	Интенсивное перемешивание	Сближение реакционноспособных компонентов битума и минерального материала
	Вибрационное воздействие	Концентрация активных молекул вяжущего в зоне контакта
	Электроперемешивание	Образование двойного электрического слоя в зоне контакта вяжущего и минерального материала

Основная гипотеза активационно-технологической механики была выдвинута Я.Н. Ковалевым [5]. В ее основу положена идея оптимизации условий для проявления наиболее активного состояния минеральных компонентов и вяжущего в момент их технологических контактных взаимодействий, т.е. если на компоненты битумо-минеральных материалов воздействовать так, что при этом полностью реализуется их способность к активному взаимодействию на электронно-ионном уровне, то можно целенаправленно регулировать процессы адгезионного взаимодействия фаз на границе их раздела. При этом открывается реальная возможность усилить адгезионные контакты поверхностей частиц минеральных материалов, имеющих кислую природу, с органическими вяжущими (вплоть до хемосорбционного уровня). Прочной адгезионной связи на границе раздела «кислого минерального материала и органического вяжущего» можно достичь при наличии между ними достаточного уровня разнополярных электростатических взаимодействий.

Одним из способов достижения этого является трибоактивация [6], сущность которого заключается в следующем. Поверхность естественных кварцевых песков характеризуется энергетической неоднородностью, что обусловлено существованием на ней различных по величине и знакам электрических зарядов. Для обеспечения интенсивного взаимодействия минеральных материалов с ПАВ или органическими вяжущими необходимо стремиться к увеличению энергетического потенциала их поверхности, что может быть достигнуто путем ее направленной трибоэлектризации. Для сообщения поверхности частиц песка отрицательного электрического заряда они должны контактировать с материалом, имеющим меньшее значение работы выхода электрона (например, с любым металлом), а для зарядки положительным электрическим зарядом - с материалом, имеющим величину работы выхода большую, чем у песка, например, полиэтиленом. Осуществлять процесс трибоактивации можно путем продувки кварцевого песка через металлическую или диэлектрическую трубу [7].

Л.Б. Гезенцвей отмечал [4], что наиболее благоприятным для химической модификации (активации) является момент возникновения новых поверхностей, поскольку в этом случае можно использовать особое энергетическое состояние, присущее лишь свежесформированным поверхностям. Важнейшими актами, сопровождающими механохимические процессы, протекающие при физико-химической активации минеральных материалов по указанной технологии, являются: возникновение свободных радикалов вследствие

разрыва химических связей, изменение структуры поверхностных слоев минеральных частиц, образующихся в процессе диспергирования. Свободные радикалы обладают исключительно большой активностью, позволяющей им легко вступать в химическое взаимодействие с обычными молекулами других веществ. Направлению механической активации дорожно-строительных материалов большое внимание уделял В.С. Проккопец [8], полагая, что эффективным способом увеличения поверхностной энергии являются дробление, помол и истирание. По его мнению, активация измельчением относится к числу новых и технологически более совершенных методов интенсификации растворения и выщелачивания, сопутствующих процессам структурообразования в материалах и позволяющих увеличить реакционную способность твердых тел путем усиления дефектности в кристаллической структуре и активного состояния развитой поверхности.

На основании анализа существующих нереагентных способов активации минеральных материалов можно сделать несколько выводов.

Во-первых, эффект от нереагентной обработки минеральных материалов путем их дробления, в том числе и электрогидравлического, теряется вследствие образования на их поверхности пленки химически связанной воды. Удаление этой пленки с помощью тепловой обработки требует повышенных энергозатрат, а перегрев минерального материала может привести к выгоранию битума при контакте в асфальтосмесителе. Трибоэлектризация сухих материалов перспективна в случае ее применения для всех фракций щебня, песка и минерального порошка, но для этого необходимо использовать соответствующее оборудование. Электризация в вихревом слое приводит к дополнительному измельчению материала, что нарушает гранулометрический состав асфальтобетона. Обработку сухих минеральных материалов радиационным воздействием, электромагнитными полями, ультрафиолетовым излучением трудно осуществить в производственных условиях современного асфальтобетонного завода, не предусматривающего дополнительных средств защиты от излучений и физических полей.

Во-вторых, интенсификация перемешивания асфальтобетонной смеси положительно сказывается в первую очередь на повышении ее однородности, но для протекания более активных физико-химических процессов необходима значительная энергия, которая может привести к дроблению частиц минерального материала и нарушению гранулометрических параметров. Это же касается и вибрационного воздействия. Электроперемешивание можно реализовать для смеси битума



с минеральными порошками, но этот процесс сложно организовать на практике для всех минеральных материалов в составе асфальтобетона. В связи с этим активация отдельных его компонентов более предпочтительна. Таким образом, нереагентная обработка может быть применима на производстве при условии разработки соответствующей техники.

Работами ряда исследователей - Л.Б. Гезенцвея, А.С. Колбановской, А.И. Лысихиной - был подтвержден эффект химической активации минерального материала. Совершенно очевидно, что величина адгезии битума к поверхности минеральных частиц в большей степени зависит от характера связей, возникающих между этими материалами. При взаимодействии битума с кислыми горными породами, имеющими отрицательный заряд поверхности, практически не образуется хемосорбционных соединений [4]. В БелдорНИИ в результате проведенных исследований было подтверждено, что изменение отрицательного электрокинетического потенциала минеральной поверхности возможно путем обработки ее солями поливалентных металлов, что приводит к переходу электрокинетического потенциала с отрицательного на положительный, а именно происходит нейтрализация кислотных свойств поверхностного слоя минеральных частиц за счет введения положительных ионов при обработке данных материалов растворами солей поливалентных металлов [9].

Продолжая развивать идеи химической активации, разные авторы предлагали различные способы обработки минеральных материалов. Одни предлагали сначала обрабатывать поверхность минеральных материалов растворами органических кислот, а затем водными растворами солей кальция, железа, алюминия и т. п., другие - сначала растворами указанных солей, а затем растворами органических кислот или их мыл, например, мылонафтом [2].

Эффективными и доступными активаторами являются известь (кипелка; пушонка) и цемент. Их можно применять в порошкообразном виде и в виде водных суспензий. В результате активации поверхности минеральных материалов известью достигается не только лучшее смачивание и прилипание битума, но и более быстрое смешение его с влажным минеральным материалом. Эффект активации зависит от влажности минерального материала, его минералогического состава и количества активатора.

Для активации минеральных материалов могут применяться также медный и железный купорос, хлорное железо и соляная кислота. Расход активаторов, как правило, равен 0,5 %-1,5 % от массы

минерального материала [10].

Кроме обработки материалов вышеперечисленными способами, известны также способы активирования с помощью органических компонентов, например, обработка холодных минеральных материалов смолой из отходов переработки древесины, в которую в обязательном порядке необходимо добавлять известь или цемент для нейтрализации водорастворимых соединений [11].

Помимо этого существует способ активирования дорожных минеральных материалов аэрозолем от пиролиза отходов древесины [12]. Активация осуществляется следующим образом: в бункер с минеральным материалом подается аэрозоль от термохимического разложения опилок, стружки и других мелких отходов древесины. Мелкие древесные отходы пиролизуют в небольшой камере, которую нагревают при сжигании любого топлива, а затем продукты термического распада поступают в бункер с материалом. При поступлении в бункер горячего аэрозоля его жидкая фракция (смесь смолы, воды и других веществ) конденсируется на холодной поверхности минеральных материалов. В результате испарения воды, а также других веществ на поверхности и в порах минерала остается тонкий и прочно связанный слой смолы, который достаточно гидрофобен и имеет хорошее химическое сродство с битумом. В результате обеспечивается высокая смачиваемость минералов битумом и большая адгезия в контакте, что способствует повышению качества получаемых дорожно-строительных материалов.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЛАБОРАТОРНЫЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ЭФФЕКТА АКТИВАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОДУКТАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ТОРФА

Анализируя все вышеизложенные способы активации, предлагается использовать торф в качестве нового активатора минеральной части асфальтобетона. Добиться этого можно, если обеспечить контакт минеральных материалов с атмосферой, содержащей в газовой фазе, например, битумные компоненты, которые входят в продукты термического разложения торфа. В этом случае битумы, содержащиеся в продуктах термического разложения торфа в газовой фазе, проникают в поры, которые недоступны для жидкого битума при обычном способе подачи вяжущего компонента в смеситель. При новом способе неизбежно часть битумов конденсируется на поверхности минеральных частиц, образуя слой мо-

лекул, который способствует улучшению адгезии между минеральными материалами и битумным вяжущим, подаваемым затем в смеситель в жидком виде.

Выдвинутое предположение влияния продуктов термического распада торфяной крошки на адгезионные свойства обрабатываемого минерального материала с битумом было подтверждено лабораторными испытаниями, где в качестве

ляли так называемый коэффициент адгезии ( $K_{адг}$ ), представлявший собой величину поверхности минерального материала, покрытой пленкой битума после кипячения и выраженной в процентах от общей поверхности материала (таблица 2).

По полученным результатам оценки адгезии, были построены трехмерные поверхности отклика, которые наглядно позволили представить закономерность изменения адгезии минерального

Таблица 2 - Результаты оценки адгезии

Номер обработанного образца	Температура перемешивания $t$ , °С	Время перемеш. $T$ , мин	Добавка $k$ , % от минер. массы	$K_{адг}$ , %
1	240	9	1	78,42
2	160	9	1	77,58
3	240	1	1	80,53
4	160	1	1	77,37
5	240	9	0,3	77,58
6	160	9	0,3	76,11
7	240	1	0,3	75,47
8	160	1	0,3	74,74
9	240	5	0,65	79,47
10	160	5	0,65	77,79
11	200	9	0,65	79,47
12	200	1	0,65	78,42
13	200	5	1	84,21
14	200	5	0,3	79,47
15	200	5	0,65	81,58
Материал без обработки	0	0	0	73,16

Примечание – Для песка без битума  $K_{адг} = 0$  %, для песка с битумом до кипячения  $K_{адг} = 100$  %.

минерального материала, который подвергался активации, использовался песок с размером частиц 0,63-2,5 мм, а в качестве активатора – верховой торф с размером частиц менее 1,25 мм. При этом был произведен выбор факторов, которые максимально влияли на ход активации: температура перемешивания ( $t$ , °С) с минеральным материалом, время воздействия разогретой минеральной части на торфяную крошку ( $T$ , мин) и количество добавляемой торфяной крошки ( $k$ , % от массы минеральной части). После активации минеральный материал проходил процедуру оценки адгезии с битумом. Сцепление оценивали визуально по величине поверхности минерального материала, сохранившей битумную пленку после кипячения в водном растворе поваренной соли. Для этой оценки использовали фотоэлектрический блескомер БФ-2. В результате опреде-

материала с битумом ( $K_{адг}$ ) в зависимости от изменения активационных факторов (анализ результатов на рисунках 1 и 2).

Таким образом:

1) материал, не прошедший активацию, показал наихудший результат по адгезии ( $K_{адг} = 73,16$  %) по сравнению с остальными образцами серии с максимальной величиной  $K_{адг} = 84,21$  %;

2) с увеличением температуры перемешивания до 200 °С в нашем случае  $K_{адг}$  увеличивается, но с дальнейшим подъемом температуры, величина  $K_{адг}$  падает, это обусловлено слабой термической стойкостью веществ, выделяющихся из торфа и оседающих на поверхности минерального материала;

3) с увеличением времени перемешивания  $K_{адг}$  растет до некоторого значения (5-6 мин – в нашем случае) и затем начинает падать, что также

обусловлено слабой термической стойкостью веществ, выделяющихся из торфа и оседающих на поверхности минерального материала;

4) количество торфяной крошки в смеси существенно влияет на адгезионные свойства минерального материала, т.к. большее ее количество выделяет больше активирующих веществ (высокомолекулярных соединений).

Затем была проведена и промышленная апро-

бация данного способа активации минеральной части асфальтобетона. Опытно-технологические работы по укладке асфальтобетонной смеси типа ПГГ Ш/1,8 по СТБ 1033 [13] с торфоактивированными минеральными компонентами производились на автомобильной дороге Колодищи - Сухорукие. Физико-механические характеристики опытной асфальтобетонной смеси указаны в таблице 3.

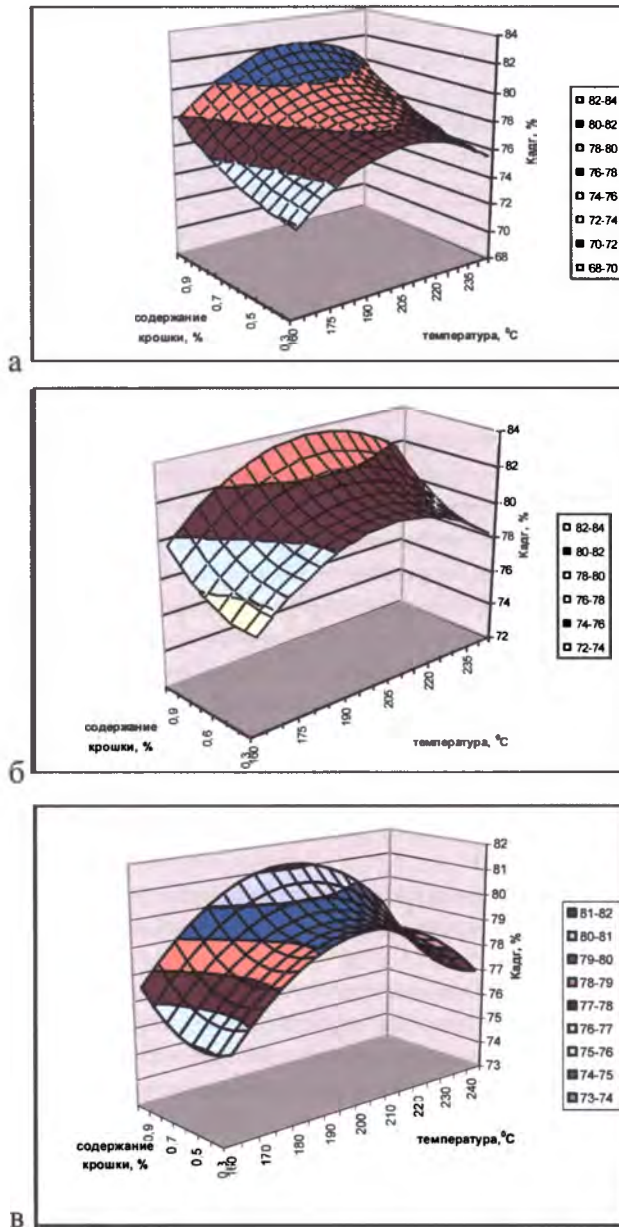


Рисунок 1 - Зависимость  $K_{адз}$  от температуры перемешивания ( $t$ , °C) и содержания торфяной крошки ( $k$ , %) при времени перемешивания  $T$ : а) 1 мин; б) 5 мин; в) 9 мин

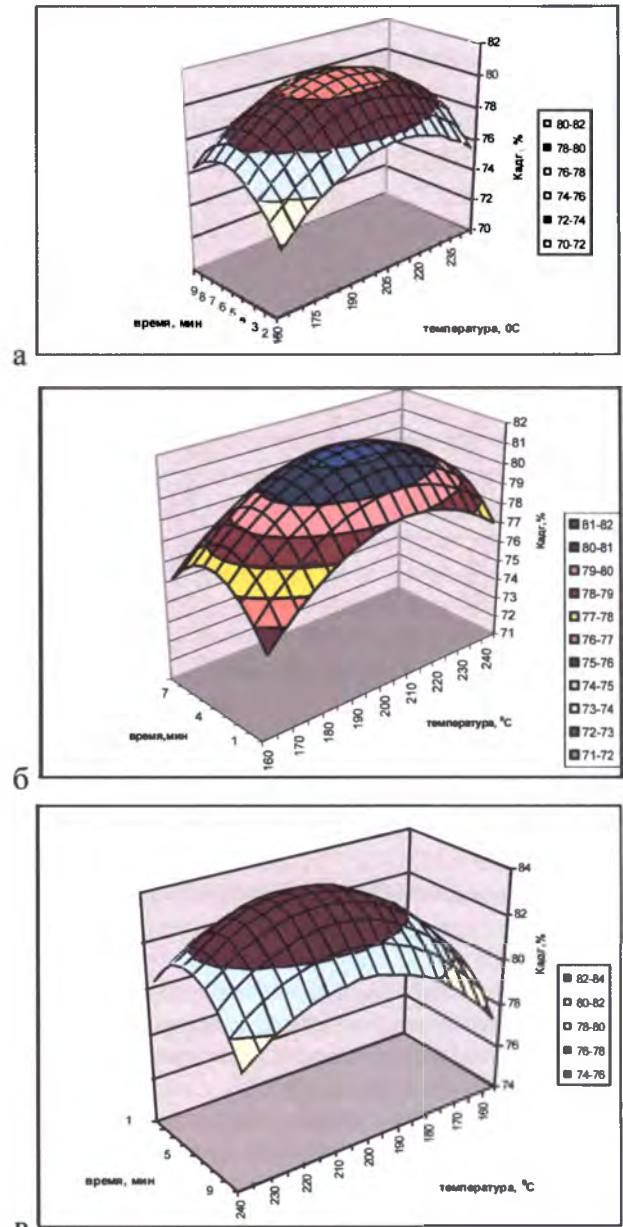


Рисунок 2 - Зависимость  $K_{адз}$  от температуры перемешивания ( $t$ , °C) и времени перемешивания ( $T$ , мин) при содержании торфяной крошки  $k$ : а) 0,3 %; б) 0,65 %; в) 1 %



Таблица 3 – Физико-механические характеристики асфальтобетона ПГг III/1,8

Физико-механическая характеристика	Образцы с торфоактивированными минеральными заполнителями				Проба без активированных заполнителей	Значения по СТБ 1033 [13]
	ПРОБЫ					
	1	2	3	4		
1. Водонасыщение, % по объему	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,0-4,0
2. Набухание, % по объему	0	0	0	0	0	Не более 1,0
3. Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре 50 °С	1,24	1,22	1,27	1,20	1,18	Не менее 1,1
4. Предел прочности при растяжении, МПа, при температуре 0 °С	2,23	2,16	2,08	2,19	1,76	1,0-3,0
5. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении в агрессивной среде после 14 сут	0,85	0,88	0,90	0,88	0,81	Не менее 0,75
6. Предел прочности при сдвиге при температуре 50 °С, МПа	1,93	1,88	1,91	1,87	1,82	Не менее 1,8
7. Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	2,37	2,36	2,37	2,38	2,38	-

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ существующих способов активации компонентов асфальтобетонных смесей показал необходимость дальнейшего совершенствования технологий.

2. В качестве одного из новых перспективных направлений по улучшению свойств асфальтобетонных смесей и экономии битумов предлагается метод увеличения адгезионного взаимодействия в системе «бигум – минеральный материал» путем активации минеральной части смеси продуктами термического распада торфа, при его термодеструкции в смесителе АБЗ.

3. Проведенный анализ физико-механических характеристик образцов асфальтобетона показал положительное влияние активации продуктами термической деструкции торфа на его свойства. Установлена устойчивая тенденция к улучшению всех прочностных показателей и улучшение коррозийной стойкости асфальтобетона.

## Литература

1. Бокий, Г.Б. Кристаллохимия. – М.: Недра, 1960. – 357 с.
2. Кучма, М.И. Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.
3. Шульман, Э.П., Ковалев, Я.Н., Зальцгендлер, Э.А. Реофизика конгломерантных материалов. – Минск: Наука и техника, 1978. – 240 с.
4. Гезенцевей, Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. – М.: Стройиздат, 1971. – 255 с.
5. Ковалев, Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов. – Минск: БелЭн, 2002. – 336 с.
6. Ковалев, Я.Н., Кравченко, С.Е., Гречихин, Л.И. Теоретические основы трибозлектризации кварцевых дисперсных материалов. – М., 1986. – Деп. ЦЕНТИ Минавтодора РСФСР, № 122а. – 8 с.
7. Кравченко, С.Е. Получение и применение трибоактивированных песков в дорожном асфальто-

бетоне: дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1987. – 143 с.

8. Прокопец, В.С. Повышение эффективности дорожно-строительных материалов механоактивным модифицированием исходного сырья: дис. ... доктора техн. наук. – Омск, 2005. – 342 с.

9. Старостина, О.И., Чистова, Т.А., Степанова, Е.А., Федоров, И.Ф. Активация поверхности гранитного минерального материала // Сборник научных трудов «ВелдорНИИ» / РУП «БелдорНИИ». – Минск, 2002. – Ч. II. – С. 146-155.

10. Лысихина, А.И. Поверхностно-активные добавки для повышения водоустойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 232 с.

11. Хорошуля, А.А., Володько, В.П. Использо-

вание отходов лесохимического производства в качестве вяжущего для устройства дорожных покрытий // Повышение эффективности использования материалов при строительстве асфальтобетонных и черных покрытий // Труды СоюздорНИИ. – М., 1989. – С. 166-169.

12. Способ активирования дорожных минеральных материалов: пат. 2130906 С1 РФ, МПК С 04В 20/10, 26/26 / В.А. Игошин, А.В. Виноградов, В.А. Каширцев, А.М. Ишков, В.А. Игошина; заявитель Якутский государственный университет. № 97105494/03; заявл. 07.04.97; опубл. 27.05.99, Бюл. №15.

13. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия СТБ 1033-2004.