

Лукаш Е. А., канд. техн. наук, доц.,  
Кузнецов Д. А., канд. техн. наук, доц.,  
Бабанин М. В., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ЭФФЕКТИВНЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ\*

svh8@yandex.ru

*Рассмотрена возможность модифицирования ультрафиолетовым облучением дисперсных минеральных наполнителей из техногенного сырья КМА. Определено оптимальное время воздействия ультрафиолета для каждого материала, при котором максимально увеличивается концентрация обменных центров, замедляется скорость регидратации и заметно снижается влагопоглощение. Показано, что физико-механические характеристики и долговечность асфальтобетона, приготовленного на модифицированном минеральном порошке, существенно повышаются.*

**Ключевые слова:** асфальтобетон, модифицирование, наполнитель, обменные центры, физико-механические характеристики, влагопоглощение.

В настоящее время основным композиционным материалом для дорожного строительства по-прежнему является асфальтобетон. Но этот традиционный материал не всегда в полной мере обеспечивает требуемую надежность и долговечность дорожных конструкций. В связи с этим возникает острая проблема, обусловленная необходимостью совершенствования существующих материалов и технологий с учетом современных требований и новых задач. Одним из направлений решения данной проблемы является регулирование технологических и строительно-технических свойств композитов за счет увеличения структурообразующей способности дисперсных компонентов – минеральных порошков, которые являются основными элементами структуры на микро- и мезоуровнях.

При использовании минеральных порошков на первые позиции выходят их поверхностные свойства, которые могут значительно отличаться от характеристик в объеме. Для таких материалов необходимо знать природу и состояние поверхности, которая играет определяющую роль в процессах структурообразования, а, следовательно, оказывает влияние на физико-механические характеристики композиционного материала. Особенно актуальным это становится в связи с возникшей потребностью в производстве минеральных порошков из местного сырья и отходов промышленности [1, 2].

Анализ состояния поверхности дисперсных материалов и механизмов контактных взаимодействий в наполненных композиционных строительных материалах позволяет наметить пути модифицирования минеральных порошков с целью усиления их адгезии к связующему и повышения структурообразующей роли, одним из которых является ультрафиолетовое (УФ) облучение. В работе [3] указано, что под действием ультрафиолетового облучения происходит из-

менение состояния поверхности кремнезема, в результате чего образуются свободные валентности, играющие роль новых активных центров адсорбции. Это нашло подтверждение в работах [4, 5].

Кроме того, установлено [6], что активные адсорбционные центры оказывают значительное влияние и на взаимодействие минеральных материалов с органическим вяжущим. Автором сделан вывод о том, что необходимым условием обеспечения прочных адгезионных контактов между органическим вяжущим и минеральными материалами является наличие на поверхности последних активных центров, способных адсорбировать практически все органические соединения, содержащиеся в битуме.

Целью данной работы явилось исследование влияния ультрафиолетового излучения на свойства минеральных порошков и асфальтобетона на их основе. В качестве минеральных порошков использовались материалы с удельной поверхностью около 350 м<sup>2</sup>/кг: кварцитопесчаник Лебединского ГОКа Курской магнитной аномалии, отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС), шлак Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК), а также песок Нижнеольшанского месторождения для сравнения. Источником УФ-излучения служили кварцевая лампа Q-139. Минеральный порошок тонким слоем располагался на расстоянии 0,3 м от кварцевой лампы и при периодическом перемешивании подвергался облучению.

Анализ результатов, представленных в таблице 1, показал, что зависимость концентрации обменных центров от времени облучения для всех материалов носит экстремальный характер с максимумами при времени облучения 10 – 12 минут для кварцитопесчаника, 12 – 15 минут – для отходов ММС, 7 – 10 минут – для песка и

15 минут – для шлака ОЭМК. Необходимо отметить, что обменная емкость всех исследуемых наполнителей при оптимальном времени облучения увеличивается более чем на 100 % по сравнению с исходными материалами. Это про-

исходит, по-видимому, из-за частичной дегидратации поверхности наполнителей, что приводит к увеличению количества изолированных гидроксильных групп на ней и повышению реакционной способности.

Таблица 1

### Зависимость обменной емкости наполнителей от времени УФ-облучения

Наполнитель	Обменная емкость, мк-экв/г при времени облучения, мин.							
	0	3	5	7	10	12	15	20
Кварцитопесчаник	14,1	19,0	23,7	27,0	29,8	30,2	29,1	26,9
Отход ММС	15,2	19,6	22,9	25,9	28,5	29,5	29,4	27,2
Кварцевый песок	9,8	13,7	18,4	20,8	20,9	19,5	18,3	16,3
Шлак ОЭМК	6,4	8,6	9,9	11,0	12,1	12,6	12,8	12,3

При этом, помимо увеличения реакционной способности поверхности наполнителей, происходит ее гидрофобизация, что заметно снижает влагопоглощение по сравнению с необработанными материалами (таблица 2). Максимальные значения характеризуют наибольшее снижение влагопоглощения наполнителей при оптимальном времени УФ-облучения относительно необ-

работанных. Так, максимальное снижение влагопоглощения наблюдается у наполнителя из песка и составляет 70 %; для кварцитопесчаника снижение влагопоглощения равно 52 %, отхода ММС – 47 %, и наименьшим относительным изменением влагопоглощения обладает минеральный порошок из шлака ОЭМК – 35 %.

Таблица 2

### Влияние УФ-облучения наполнителей на их влагопоглощение

Наполнитель	Относительное снижение влагопоглощения, % при времени облучения, мин.							
	0	3	5	7	10	12	15	20
Кварцитопесчаник	0	8,6	23,8	37,3	50,1	52	48,5	47,1
Отход ММС	0	10,1	19,3	29,1	38	47	46	43,4
Кварцевый песок	0	23	44,5	68,1	70	67,8	66,7	63
Шлак ОЭМК	0	5	12,5	17,3	25,8	30,9	35	34,3

Такой эффект снижения влагопоглощения можно объяснить тем, что под действием ультрафиолетовых лучей поверхность минеральных материалов дегидратируется, при этом ослабевают связи ОН-групп с тетраэдрами  $\text{SiO}_2$ , что способствует ускорению процесса дегидроксилирования поверхности при оптимальном времени воздействия УФ-облучения. Поскольку максимальное увеличение концентрации обменных центров и минимальное влагопоглощение поверхности при УФ-облучении совпадают по времени, можно предположить, что адсорбция воды после модифицирования происходит не на дегидратированных участках поверхности минеральных порошков, а только на группах  $\text{SiOH}$  по механизму образования водородных связей [7].

Для проверки гипотезы относительно положительного влияния УФ-облучения дисперсных материалов на усиление их адгезии к органическому вяжущему было определено сцепление битума с неактивированными и активированными при оптимальном времени обработки минеральными порошками весовым методом и

проведено сопоставление полученных показателей с величинами обменной емкости и влагопоглощения.

Полученные результаты (таблица 3), показывают, что все исследуемые минеральные порошки, модифицированные при оптимальном времени обработки, обеспечивают гораздо лучшее сцепление с битумом, по сравнению с порошками в неактивированном состоянии. При этом наибольшую площадь поверхности, покрытую битумом, имеют минеральные порошки из кварцитопесчаника (94 %) и отходов ММС (90 %), наименьшую – минеральный порошок из шлака ОЭМК (58 %). Адгезия битума к кварцевому песку на 25% меньше, чем к кварцитопесчанику, несмотря на одинаковый химический и минералогический состав, а также самое низкое влагопоглощение (0,51 %), что связано с меньшим количеством активных адсорбционных центров, присутствующих на поверхности кварцевого песка. Следует отметить, что при одинаковом процентном увеличении обменной емкости после УФ-облучения (в среднем на 100%) для всех материалов наблюдается одинаковое

процентное увеличение сцепления (31-32 %). Исключение составляет шлак ОЭМК, сцепление

которого с битумом вследствие повышенного влагопоглощения возросло на 2 4%.

Таблица 3

#### Влияние УФ-облучения наполнителей на их влагопоглощение

Наполнитель	Обменная емкость, мк-экв/г		Сцепление, %		Влагопоглощение, %	
	до активации	после активации	до активации	после активации	до активации	после активации
Кварцитопесчаник	14,1	30,2	62	94	1,29	0,63
Отход ММС	15,2	29,5	58	90	1,41	0,76
Кварцевый песок	9,8	20,9	38	69	1,69	0,51
Шлак ОЭМК	6,5	12,8	34	58	2,96	1,92

Влагопоглощение необработанного кварцевого песка на 30 % выше, чем кварцитопесчаника. Это подтверждают установленные с помощью ИК-спектроскопии результаты по различному состоянию адсорбированной воды и ее фрагментов на поверхности двух разновидностей кварца [4]. По-видимому, адсорбция воды происходит не на изолированных гидроксильных группах, а на ранее адсорбированных моле-

кулах воды, которых на поверхности песка значительно больше.

Установленный характер изменения адсорбционной способности и гидрофобизации дисперсных материалов в результате УФ-обработки, в определенной степени, должен быть связан с битумоемкостью минеральных порошков.

Таблица 4

#### Влияние УФ-облучения наполнителей на их битумоемкость

Применяемый минеральный порошок	Битумоемкость, г/100 см <sup>3</sup>	
	минеральный порошок исходный	минеральный порошок активированный
Кварцитопесчаник	55,2	47,6
Отход ММС	56,8	49,4
Кварцевый песок	59,7	52,9
Шлак ОЭМК	67,5	61,4

Как показывают результаты исследований (таблица 4), битумоемкость минеральных порошков, активированных при оптимальном времени УФ-облучения, снижается на 9 – 13,8 %, что объясняется гидрофобизацией поверхности наполнителей в результате обработки. При этом наименьшей битумоемкостью обладает активированный минеральный порошок из кварцитопесчаника – 47,6 г, наибольшей – минеральный порошок из шлака ОЭМК – 61,4 г. Исходя из полученных данных, можно предположить, что оптимальное содержание битума в смесях на активированных минеральных порошках будет меньше по сравнению со смесями на немодифицированных порошках.

Для исследования влияния УФ-обработки минеральных порошков на физико-механические характеристики асфальтобетона были изготовлены и испытаны по стандартным методикам образцы из асфальтобетонной смеси типа Г, что обусловлено решающим влиянием свойств дисперсного материала на качество композита. Следует отметить, что в зависимости от вида применяемого минерального порошка, а также с учетом его активации для каждой смеси индивидуально подбиралось содержание биту-

ма. Это позволило установить, что использование модифицированных минеральных порошков в составе асфальтобетонных смесей позволяет на 8-10% уменьшить расход битума.

Физико-механические характеристики асфальтобетона, приготовленного на обработанных ультрафиолетом минеральных порошках, существенно повышаются (таблица 5). Наблюдается значительное увеличение пределов прочности при сжатии при +20 °С и при +50 °С. Так, при температуре испытания +20 °С, максимальное увеличение прочности наблюдается у образцов с активированным минеральным порошком из кварцитопесчаника – 30,6 %, для отходов ММС оно составляет 28,9 %, для минеральных порошков из кварцевого песка и шлака ОЭМК – 25,9 % и 23,8 % соответственно.

Снижение показателей водонасыщения, а также увеличение водостойкости образцов асфальтобетона, свидетельствуют о том, что плёнки битума на поверхности минерального материала отличаются высокой устойчивостью к отслаиванию при воздействии агрессивной среды. Это препятствует глубокому проникновению воды в поры и капилляры материала, а также диффузии воды под битумную плёнку, опасную

тем, что после этого сорбированные молекулы воды могут легко мигрировать по поверхностям,

вновь образующимся в деформированном материале, что приводит к его разрушению.

Таблица 5

### Физико-механические характеристики асфальтобетона

Наименование показателя	Требования по ГОСТ	Минеральный порошок							
		Кварцитопесчаник		Отход ММС		Песок		Шлак ОЭМК	
		исх.	модиф.	исх.	модиф.	исх.	модиф.	исх.	модиф.
Водонасыщение, %	1,50 – 4,00	1,67	1,51	1,69	1,54	2,20	2,05	2,60	2,46
Предел прочности при сжатии, МПа: - при 20 °С - при 50 °С - при 0 °С	>2,20	4,90	6,40	4,83	6,23	4,63	5,83	4,50	5,57
	>1,20	3,10	3,90	2,93	3,63	2,70	3,34	2,40	2,87
	<12,0	11,20	10,80	11,33	10,87	11,47	11,03	11,67	11,43
Водостойкость	>0,85	0,92	0,96	0,91	0,96	0,88	0,93	0,85	0,90
Водостойкость при длительном водонасыщении	>0,75	0,83	0,88	0,82	0,87	0,76	0,81	0,75	0,82

Следует обратить внимание на изменение прочности при сжатии асфальтобетона при температуре +50 °С, которая характеризует работоспособность асфальтобетона в летний период, когда температура покрытия имеет максимальное значение, а вязкость битума при этом минимальная. Так, при температуре испытания +50 °С, максимальное увеличение прочности наблюдается у образцов с активированным минеральным порошком из кварцитопесчаника – 25,8%, для отходов ММС оно составляет 23,9 %, для минеральных порошков из кварцевого песка и шлака ОЭМК – 23,3 % и 19,5 % соответственно.

Вышесказанное можно отнести и к испытаниям асфальтобетона на прочность при сжатии при 0°С. По этим результатам можно судить, как будет вести себя асфальтобетон при переходе битума из упруго-пластичного в твердое состояние, при котором проявляется такое свойство битума как хрупкость.

Таким образом, на основе результатов проведенных исследований, можно заключить, что УФ-облучение при оптимальных параметрах воздействия положительно влияет на свойства минеральных порошков, что значительно улучшает физико-механические характеристики и долговечность асфальтобетона с их использованием.

*\*Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 годы.*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Особенности свойств поверхности кислых минеральных материалов для асфальтобетонных смесей / А.М. Гридчин, В.В. Ядыкина, Д.А. Кузнецов, М.А. Высоцкая, А.В. Кузнецов // Строительные материалы. 2007. №8. С. 56–57.
2. Анализ органо-минеральных композитов с учетом генезиса и размерных уровней минерального сырья / В.В. Строкова, И.В. Жерновский, А.О. Лютенко, М.С. Лебедев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №1. С. 30–33.
3. Киселёв В.Ф., Крылов О.В. Адсорбционные процессы на поверхности полупроводников и диэлектриков. М.: Наука, 1978. 255 с.
4. Гладких Ю.П., Ядыкина В.В., Завражина В.И. Влияние УФ-облучения на физико-химическую активность кварцевого песка и процессы формирования цементопесчаного бетона // Коллоидный журнал. 1989. Т. 51. №3. С. 445–450.
5. Yadykina V., Gridchin A., Lukash E. Increasing of concretes efficiency by modifying of extenders surface / Ibausil: 17 Internationale Baustofftagung. Weimar, 2009. В. 2. S. 517–522.
6. Ядыкина В.В. Влияние активных поверхностных центров кремнеземсодержащих минеральных компонентов на взаимодействие с битумом // Известия вузов. Строительство. 2003. №9. С. 75–79.
7. Айлер Р. Химия кремнезема. Пер. с англ. М.: Мир, 1982. Ч.2. 712 с.