



## ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВЯЗЕЙ В КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Данная работа посвящена вопросам исследования адгезионных связей в композиционном материале на основе природного щебня из гранита и габбро-диабазы и щебня из сталеплавильного и доменного шлака для поверхностной обработки покрытия автомобильных дорог. Основным методологическим инструментом для решения этой задачи было использование современного метода исследования, в частности спектрофотометрического способа определения величины адгезии обычного и модифицированного нефтяного дорожного битума к поверхности щебня из природных и техногенных материалов. Впервые проведено исследование адгезионных связей в композиционном материале на основе щебней из природных и техногенных материалов в сочетании с модифицированными битумами.

Адгезионные связи, композиционный материал, битум, модифицированный битум, автомобильная дорога, поверхностная обработка покрытия, щебень из сталеплавильного шлака.

В настоящее время самым распространенным методом быстрого восстановления дорожного полотна и повышения характеристик безопасности дорожного движения является технология поверхностной обработки. Поверхностная обработка позволяет устранить дефекты на дороге, особенно в случае, когда нет возможности удаления старого асфальтового покрытия. Важной задачей на сегодняшний день является улучшение качества, надежности и снижение стоимости поверхностной обработки покрытия автомобильной дороги. Такую задачу можно решить за счет применения новых технологических методов и использования нетрадиционных каменных материалов. Большое значение имеет использование в технологии поверхностной обработки местных техногенных вторичных продуктов, в частности щебня из металлургических шлаков. Целью работы является исследование адгезионных связей в композиционном материале для поверхностной обработки покрытия автомобильных дорог и повышения технико-экономической эффективности за счет использования природных и техногенных щебеночных каменных материалов.

В данной работе нами впервые были проведены экспериментальные исследования по определению величины адгезии нефтяного дорожного битума и модифицированного битума к поверхности гранитного щебня, щебня из габбро-диабазы, а также щебня из сталеплавильного и доменного шлака спектрофотометрическим методом [1, 2]. Исследования были проведены на спектрофотометре ПЭ-5300В. Спектрофотометр ПЭ-5300В разработан в соответствии с требованиями, предъявляемыми в российских химико-аналитических лабораториях к спектральным приборам для анализа вод, для технологического контроля сырья и готовой продукции различных отраслей промышленности. Программное обеспечение для персонального компьютера поставляется в комплекте со спектрофотометром ПЭ-5300В и позволяет отобра-

жать, хранить и распечатывать результаты. Принцип действия прибора основан на сравнении светового потока, прошедшего через растворитель или контрольный раствор, по отношению к которому проводится измерение, и светового потока, прошедшего через исследуемую среду.

Определение площади покрытия поверхности каменных материалов битумной эмульсией выполняем в несколько этапов:

1 этап: подготовка раствора метиленового голубого с оптической плотностью 1,500–1,600 ( $D_{\text{нск}}$ ).

2 этап: подготовка 15 навесок щебня одного вида по 25 г, фракции 5–10 мм:

- 5 навесок щебня, поверхность которого полностью покрыта битумом (искусственно созданная 100 % адгезия);

- 5 навесок щебня, поверхность которого не покрыта битумом (искусственно созданная нулевая адгезия);

- 5 навесок щебня, покрытых битумом, адгезию которого необходимо определить, и прокипяченных в течение 30 минут в дистиллированной воде (в соответствии с ГОСТ 11508-74 [2]).

3 этап: в лабораторные стаканчики емкостью 50 мл помещаем все пятнадцать образцов щебня и заливаем раствор метиленового голубого и оставляем на 24 часа.

После 24 часов выдерживания образцов в растворе метиленового голубого определяем оптическую плотность раствора в стаканчиках:  $D_0$  %,  $D_{100}$  %,  $D_x$  соответственно.  $D_0$  % – оптическая плотность раствора, в котором на протяжении 24 часов находился щебень, непокрытый битумной эмульсией (нулевая адгезия).  $D_{100}$  % – оптическая плотность раствора, в котором на протяжении 24 часов находился щебень, полностью покрытый битумной эмульсией (100-процентная адгезия).  $D_x$  – оптическая плотность раствора, в котором на протяжении 24 часов находился ще-

бень, прошедший испытание кипячением (реальная адгезия).

4 этап: определение площади покрытия поверхности щебня битумом.

Для определения площади покрытия битумом навески щебня, прошедшего испытание кипячением, необходимо при помощи спектрофотометра определить оптическую плотность растворов после 24-х часов выдерживания в них щебня.

По полученным данным строим линию адсорбции: слева откладываем значение оптической плотности раствора, в котором находился щебень со 100 % адгезией, справа откладываем значение оптической плотности раствора, в котором находился щебень с адгезией 0 %. Проводим линию адсорбции, соединив крайние значения. Откладываем значение оптической плотности исследуемого раствора и определяем величину адгезии по горизонтальной шкале.

В ходе работы были проведены теоретические и экспериментальные исследования свойств щебеночных материалов различного происхождения, таких как известняк, гранит, габбро-диабаз, доменный и сталеплавильный шлаки. Для поверхностной обработки покрытия автомобильной дороги необходимо соответствие физико-механических свойств щебеночных каменных материалов требованиям, указанным в рекомендациях [3]. Все исследуемые виды щебеночного материала, включая известняк, полностью удовлетворяют этим требованиям. В качестве вяжущего для композиционных материалов был использован нефтяной дорожный битум БНД 60/90 и модифицированный битум с адгезионной добавкой «Амдор-9».

Следующим обязательным требованием является достаточное значение величины адгезии битумного вяжущего к поверхности щебня из природного или техногенного каменного материала.

Степень адгезии битума к поверхности щебеночного каменного материала зависит от его химической природы. Основные карбонатные породы (известняк) имеют на своей поверхности положительный заряд, кислые (гранит) – отрицательный. В то же время в составе нефтяного дорожного битума преобладают анионоактивные вещества. То есть битум несет отрицательный заряд. С точки зрения электростатической теории адгезии хорошее сцепление битума с основными породами объясняется разноименными зарядами поверхности каменного материала и битума. Плохое сцепление битума с кислыми породами (гранит) объясняется одноименными зарядами каменного материала и битума.

Рассматривая такой показатель, как модуль основности (отношение содержания суммы щелочных оксидов  $\text{CaO}+\text{MgO}$  к сумме содержания оксидов кремния и алюминия  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ , %), мы можем предположить, что горная порода известняк, состоящая преимущественно из карбоната кальция ( $\text{CaO}$ ), которая имеет высокий модуль основности (равный 60 %), будет также иметь высокую адгезию с битумом, а гранит, являющийся кислой горной породой, содержащий 72 % кремнезема  $\text{SiO}_2$  с модулем основ-

ности 0,048 %, – низкую. Исходя из этого, чем больше модуль основности материала, тем выше адгезия.

Так как известняк не соответствует требованиям рекомендаций [3] по прочности, а в случае гранита наблюдается низкая адгезия, целесообразно рассмотреть не уступающий граниту по прочности природный каменный материал – габбро-диабаз. Габбро-диабаз, который содержит 48,5 % кремния  $\text{SiO}_2$ , 11,5 % кальция  $\text{CaO}$  и имеет модуль основности, равный 0,285 %, должен по нашим гипотетическим предположениям иметь высокую адгезию.

Рассматривая материалы с точки зрения экономии, мы также ожидаем больших перспектив при применении отходов производства – металлургических шлаков ПАО «Северсталь», г. Череповец. Так как шлаки (доменный, сталеплавильный) соответствуют требованиям рекомендаций [3] и имеют средний модуль основности, равный 1,508 % – доменный и 2,6 % – сталеплавильный, они будут хорошо работать в сочетании с битумом БНД 60/90.

Значения модуля основности щебеночных материалов рассчитаны в зависимости от их химического состава и приведены на диаграмме (рис. 1). Модуль основности доменного шлака (как средний) взят за единицу. Значения указаны в долях единицы.

Завершающим и важнейшим этапом диагностики эффективности композиционного материала для поверхностной обработки покрытия автомобильных дорог является определение внутренних адгезионных связей, а именно определение величины адгезии битумных вяжущих к поверхности щебеночного каменного материала. Это исследование должно быть обязательным, так как может наблюдаться неудовлетворительная адгезия битумного вяжущего к поверхности каменного материала даже при наличии у последнего требуемых физико-механических свойств.

Вяжущие, имеющие достаточное сцепление с минеральным щебеночным материалом, нельзя оторвать механическим усилием, его вытягивают и разделяют, но не отрывают. Если в результате какого-то усилия достигается действительный отрыв вяжущего от минерального материала, это означает, что вяжущее не имело сцепления с данным материалом. Показатель сцепления (адгезии) битума и щебня определяется на частицах щебня крупнее 10 мм. Таким образом, за показатель сцепления принимается визуально определяемая величина поверхности щебенки, сохранившей битумную пленку после создания растягивающих усилий кипячением в течение 30 минут в воде. Мы определили величину адгезии спектрофотометрическим методом с использованием спектрофотометра ПЭ-5300В с точностью до 1 %.

Нами проведены исследования с чистым битумом БНД 60/90 и модифицированным битумом БНД 60/90 с 3 % адгезионной добавкой «Амдор-9». Результаты исследования адгезии битумных вяжущих к поверхности щебня из гранита, габбро-диабазы и сталеплавильного и доменного шлаков приведены на диаграммах (рис. 2–5).

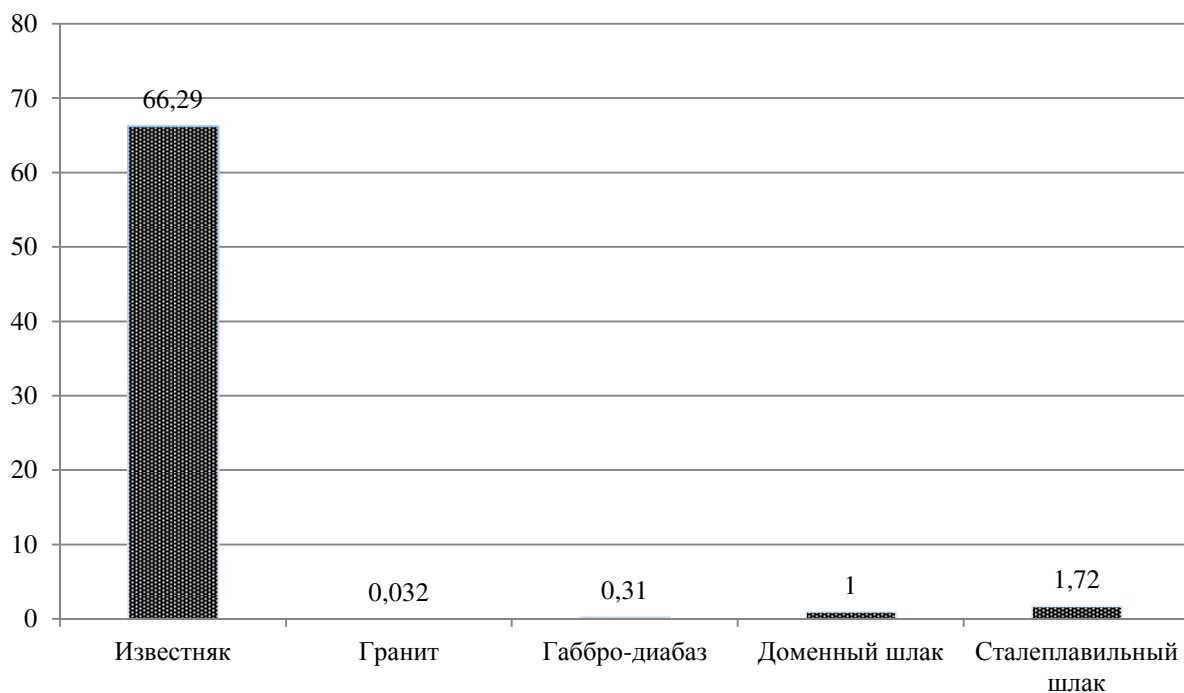


Рис. 1. Значения модуля основности щебеночных каменных материалов

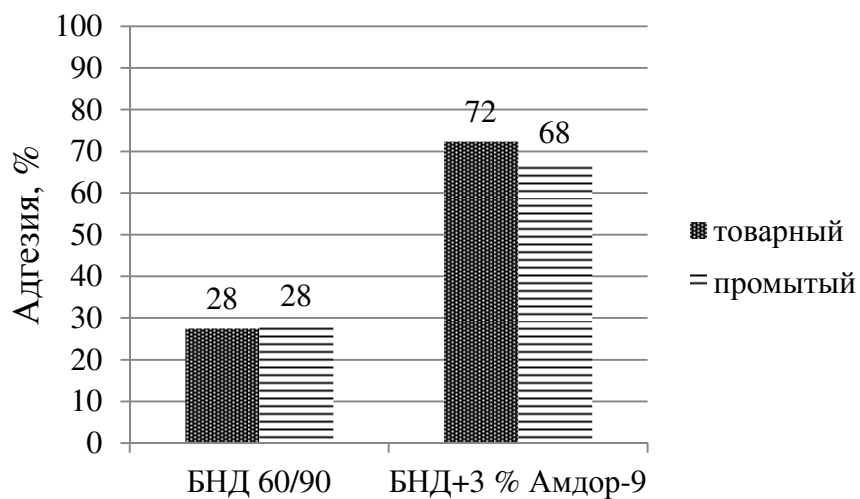


Рис. 2. Результаты определения адгезии битумных вяжущих к щебню из гранита

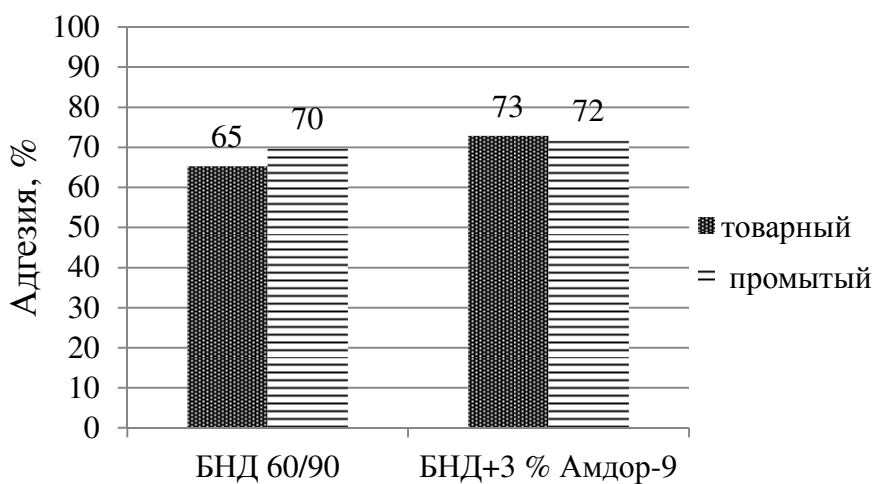


Рис. 3. Результаты определения адгезии битумных вяжущих к щебню из габбро-диабазы

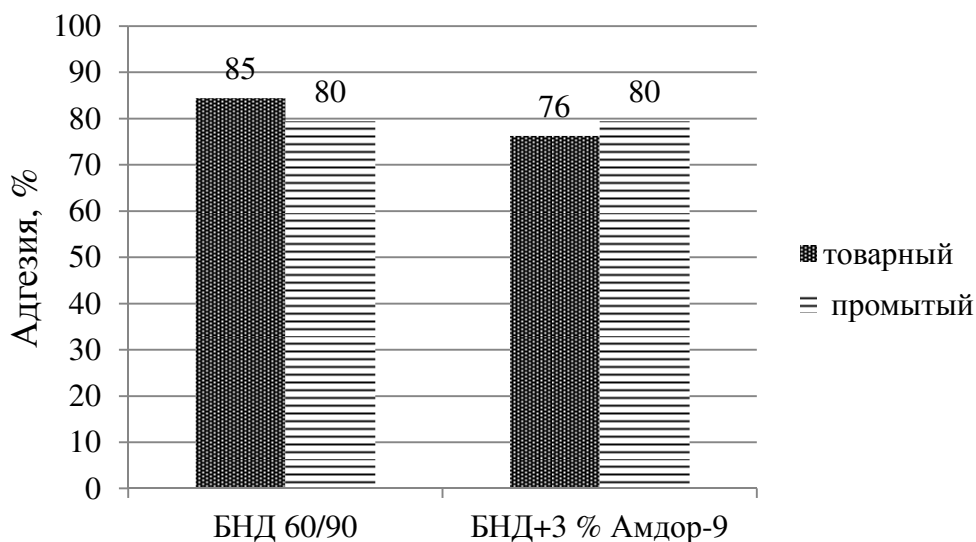


Рис. 4. Результаты определения адгезии битумных вяжущих к щебню из сталеплавильного шлака

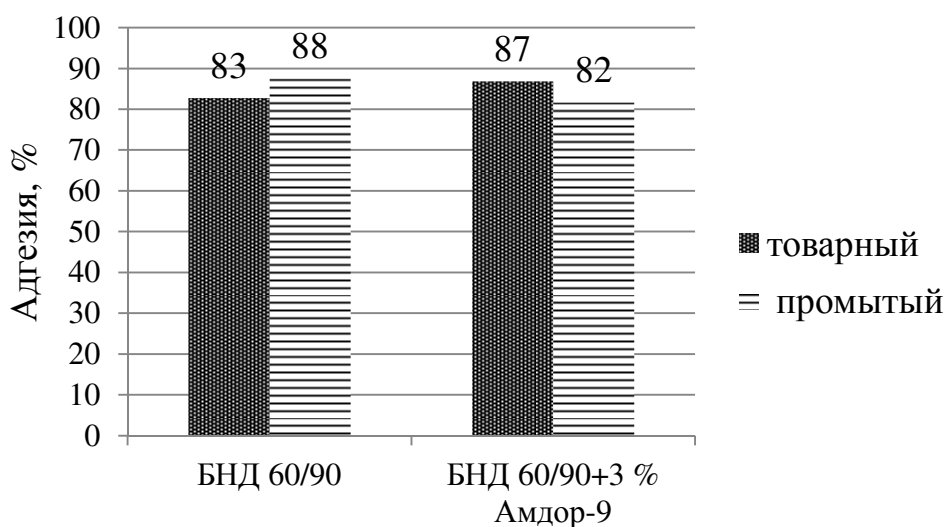


Рис. 5. Результаты определения адгезии битумных вяжущих к щебню из доменного шлака

По результатам определения отчетливо видно, что адгезия чистого битума к поверхности щебня из гранита очень низкая, но при введении добавки адгезия резко повышается. Для габбро-диабаз влияние адгезионной добавки не столь очевидно, так как мы наблюдаем уже высокую адгезию между чистым битумом и каменным материалом. В случае сталеплавильного и доменного шлаков также можно увидеть высокую адгезию чистого битума без введения адгезионной добавки.

Можно сделать вывод о том, что в случае габбро-диабаз, сталеплавильного и доменного шлака нет необходимости использовать адгезионную добавку, что значительно удешевляет стоимость ямочного ремонта.

Заслуживают особого внимания полученные нами результаты по влиянию степени чистоты на адгезионные свойства. Для всех композиций битума (модифицированного битума) с поверхностью щебня из природного и техногенного каменного материала

практически отсутствует отрицательное влияние пылеватых примесей каменного материала на величину адгезии по сравнению с чистым щебнем. Это дает основание исключить в перспективе из технологического процесса поверхностной обработки автомобильных дорог затратную и трудоемкую операцию промывки щебня.

Исследование показало низкую адгезию немодифицированного битума БНД 60/90 к поверхности щебня из гранита. Для компенсации этого недостатка необходимо обязательное введение в битум адгезионной добавки. В нашем случае была использована адгезионная добавка «Амдор-9».

В заключение следует отметить, что авторами:

1. Исследован композиционный материал для поверхностной обработки покрытия автомобильных дорог на основе щебня из природного и техногенного каменного материала с одной стороны и битума (модифицированного битума) с другой.

2. Впервые экспериментально определена с точностью до 1 % величина адгезии модифицированного битума БНД 60/90 с добавкой «Амдор-9» к поверхности природных и техногенных щебеночных каменных материалов.

3. Показано, что чистый битум марки БНД 60/90 имеет низкую величину адгезии к кислой горной породе, какой является гранит. Введение добавки адгезионной добавки «Амдор-9» увеличивает величину адгезии с 28 % до 72 % в случае товарного щебня (более чем в 2,5 раза).

4. Показана хорошая адгезия битума БНД 60/90 без адгезионной добавки к поверхности щебня из габбро-диабаз, сталеплавильного и доменного шлаков. Это позволяет исключить применение добавки «Амдор-9» и снизить стоимость ямочного ремонта.

## Литература

1. Шорин, В. А. Использование спектрофотометрической и компьютерной диагностики для определения качества сцепления в системе «битум – каменный материал» / В. А. Шорин, С. В. Припорова // Актуальные проблемы современного дорожного хозяйства : материалы Всероссийской научно-практической конференции / ВоГТУ. – Вологда, 2002. – С. 123–126.

2. ГОСТ 11508-74. Битумы нефтяные. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком (с изменениями № 1, 2) : официальный сайт. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006476> (дата обращения: 29.08.2022). – Текст : электронный.

3. Рекомендации по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью : введен 05.01.2004. – Москва : Минтранс РФ. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/47/47672/> (дата обращения: 29.08.2022). – Текст : электронный.

*V.A. Shorin, A.Y. Velsovsky*  
*Vologda State University*

## RESEARCH ON ADHESIVE BONDS IN COMPOSITE MATERIAL FOR ROAD SURFACE TREATMENT TECHNOLOGY

This work is devoted to the study of adhesive bonds in a composite material based on natural crushed stone from granite and gabbro-diabase and crushed stone from steelmaking and blast furnace slag for surface treatment of road surfaces. The main methodological tool for solving this problem was the use of a modern research method, in particular, the spectrophotometric method for determining the amount of adhesion of ordinary and modified petroleum road bitumen to the surface of crushed stone made of natural and man-made materials. For the first time, a study of adhesive bonds in a composite material based on crushed stone from natural and man-made materials in combination with modified bitumen was carried out.

Adhesive bonds, composite material, bitumen, modified bitumen, road, surface treatment, crushed stone from steel slag.