

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КРУПНОГО
ЗАПОЛНИТЕЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И
ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА
АБРАЗИВНУЮ СТОЙКОСТЬ ЩЕБНЯ**

Аспирант **Р.Ф. Гайфутдинов**,
аспирант **Г.Ф. Баймухаметов**
(ГКУ «Главтатдортранс»),
магистрант **Т.Ф. Гусманова**,
канд. техн. наук, доцент **Э.Р. Хафизов**
(Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет (КГАСУ))
Контактная информация: 9600872235@mail.ru;
baimuhametovi@mail.ru;
tansylu65@gmail.com;
hafizov@kgasu.ru

Статья касается новых методик испытания, предназначенных для контроля абразивной стойкости крупного заполнителя асфальтобетонных смесей, используемых в верхних слоях покрытий в Российской Федерации. Сообщается об исследовании, выполненном Лабораторией ГКУ «Главтатдортранс» по анализу данных методик и дорожных материалов на основе собранных статистических данных.

Рассмотрены результаты оценки существующих способов контроля износостойкости каменного заполнителя (тест Микро-Деваль, тест Нордик-Тест) и их верификации. Выявлены недостатки данных методов и предложены рекомендации по их устранению. Проанализированы основные факторы, оказывающие влияние на износостойкость крупного заполнителя асфальтобетонных смесей и способы их оценки.

Ключевые слова: крупный заполнитель, асфальтобетон, абразивный износ, износостойкость, Микро-Деваль, Нордик-Тест, щебень, автомобильные дороги.

В настоящее время Республика Татарстан является одним из передовых регионов в сфере дорожного строительства, и поэтому справедливо на его примере судить о достоинствах и недостатках передовых дорожно-строительных технологий и нововведений. Дорожно-строительные организации республики имеют более чем трехлетний опыт борьбы

с износной колеей и опыт внедрения технологий объемно-функционального проектирования асфальтобетонных смесей и зарубежных методов оценки материалов [1]. В настоящее время на основе данных технологий создаются новые асфальтобетонные и щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси, использование которых регулируется в российском законодательстве такими нормативными документами, как ГОСТ 58406.1, ГОСТ 58406.2, ГОСТ 58401.1 и ГОСТ 58401.2 [2]. При этом повышение качества асфальтобетонных смесей происходит в двух направлениях: теоретические исследования самих материалов с целью повышения их прочности и долговечности, и практические наблюдения на основе модернизированных смесей [3].

В первую очередь данные изменения обусловлены повышением требований к технико-эксплуатационным показателям автомобильных дорог и возрастающими эксплуатационными нагрузками. Использование шипов противоскольжения и увеличение интенсивности движения на автомобильных дорогах и улично-дорожной сети крупных городов влечет за собой возникновение износного колееобразования. В 2016 г. в Казанском государственном архитектурно-строительном университете проводились исследования, направленные на изучение повышенного колееобразования на некоторых улицах г. Казань с повышенной интенсивностью движения. Предпосылки данных исследований заключались в возникновении дефектов проезжей части несмотря на высокие показатели материала покрытия и соблюдение существующих норм и правил при устройстве покрытий [4]. Исследователи пришли к выводу, что основной причиной таких дефектов являлось износное колееобразование. В связи с этим при поддержке ГКУ «Главтатдортранс» к подрядным организациям Республики Татарстан были предъявлены дополнительные требования в части обеспечения износостойкости материалов верхних слоев покрытий [5].

На настоящем этапе основной задачей исследований в данной сфере является выявление факторов, влияющих на износное колееобразование, а также повышение износостойкости покрытий. Для этого требуется установление причин, влияющих на износостойкость асфальтобетонных материалов, и их оценка на примере существующих объектов и материалов, используемых в республике. Ключевую роль при этом играет увеличение износостойкости крупного заполнителя асфальтобетонных смесей [6, 7], что подтверждается многими зарубежными и отечественными исследователями. Показательными в этом плане являются эффективные исследования скандинавских стран [7] и Канады [8], где проблема износного колееобразования стоит так же остро, как и в России. Успешный опыт зарубежных коллег в данном случае является ориентиром при

проведении исследований в данной области. Однако цель рассмотренного в данной статье исследования состоит не в прямом заимствовании, а в переосмыслении, теоретическом и практическом дополнении и проверке такого опыта.

Именно поэтому в испытательной лаборатории ГКУ «Главтатдортранс» был осуществлен сбор статистических данных при исследовании заполнителей асфальтобетонов на протяжении более чем трех лет. На основе этих статистических данных были выявлены и проанализированы некоторые явления и воздействия, учет которых повышает износостойкость асфальтобетонных смесей, расширяет и уточняет теоретическую базу и позволяет проверить обоснованность рассматриваемых норм, технологий и правил проектирования и контроля качества асфальтобетонных смесей и готовых покрытий.

Параметры, влияющие на абразивную стойкость заполнителя асфальтобетонных смесей

Известно, что абразивная стойкость щебня, а именно крупного заполнителя асфальтобетонных смесей, определяется совокупностью различных факторов. Так, Йоханссон [9] в работе по изучению абразивной стойкости различных горных пород подчеркнул влияние следующих параметров:

1. текстуры слагающих минералов, их твердости и слоистости, что зависит от их минералогического состава, содержания связанной воды и т.д.;
2. наличия зон с наименьшей прочностью, способствующих распространению микротрещин и скалыванию материала – микротрещин и пористостей;
3. размера и формы зерен минералов, воздействующих на распространение трещин, сцепление между соседними зернами и их разрушение;
4. слоистости макроструктуры, что обуславливает анизотропное поведение породы.

Прогнозирование поведения породы под абразивной нагрузкой было предметом целого ряда исследований. Очевидно, что недостаточно делать вывод об износостойкости породы, основываясь лишь на её типе. Так, например, результаты изучения мраморного камня Индии, подвергнувшегося пешеходной нагрузке, свидетельствуют о том, что износостойкость мрамора различных месторождений может отличаться. При этом разброс при испытаниях, выполненных по ASTM C 241, составил более 59 мм (величина является удельным показателем толщины стертого слоя

после истирающей нагрузки, приведенной в испытании) при минимальном истирании наиболее прочного образца менее 20 мм. Поэтому авторами данного исследования была изучена корреляция физико-механических характеристик со свойствами мрамора путем регрессивного анализа. Несмотря на низкую точность их исследования ввиду малого объема выборки была выявлена связь между износостойкостью и прочностью на растяжение при изгибе, растяжение при изгибе с сдвиговой нагрузкой (англ. *modulus of rupture* – трехточечный изгиб более толстого образца) и на сжатие [10].

Аналогичные исследования различных материалов, используемых в качестве крупного заполнителя по методике Микро-Деваль, согласно стандартам ASTM и EN, показали разброс показателей износостойкости для известняка величиной 8 % и для базальта – 14 %. Это также не позволяет дать однозначную оценку износостойкости исходя из её генезиса [11]. Статистические данные, полученные в ГКУ «Главтатдортранс» и представленные в [12], аналогичным образом свидетельствуют о разбросе показателей для одинаковых по типу пород на величину более 10 % по показателю износа по методике Микро-Деваль и Нордик-Тест (Nordic Test). Таким образом, подход к выбору материала для крупного заполнителя асфальтобетонных смесей исходя из разновидности породы является ошибочным. Между тем, такой подход широко используется в некоторых регионах Российской Федерации, например, в Ленинградской области. Так, в СТО 35530651-06.01-2017 «*Реестр видов и типов дорожно-строительных материалов, изделий и асфальтобетонных смесей, регламентированных для применения при проектировании и строительстве на объектах улично-дорожной сети Санкт-Петербурга*» к применению на улицах группы А и Б (магистральные дороги скоростного и регулируемого движения, магистральные улицы непрерывного и регулируемого движения) рекомендуются исключительно щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси на габбро-диабазовом щебне. Несмотря на то, что требования дополняются ограничением по показателю износа по методу Нордик-Тест (<10 %, класс AN10), данные требования рекомендуется рассматривать нецелесообразными, так как существует большое количество примеров износостойких пород, соответствующих классу AN10, но отличных от габбро-диабазы.

Тем не менее нельзя исключать, что превалирующее количество износостойких щебней представляют собой породы интрузивного типа, такие как гранодиорит, гранит, габбро-диорит, габбро, габбро-диабаз и другие [12]. Породы осадочного, метаморфического и эффузивного сложения, согласно статистике ГКУ «Главтатдортранс», имеют меньшую износостойкость.

Большое влияние на износостойкость породы оказывает форма зерна. Очевидно, что повышенная как угловатость зерен щебня, так и шероховатость его поверхности способствуют увеличению напряжений, возникающих при ударе абразивного импактора, с повышением вероятности скола и объемом сколотого материала, что подчеркивалось многими зарубежными и отечественными авторами [10, 13, 14]. В ходе исследования, проведенного в лаборатории ГКУ «Главтатдортранс» [15], данный факт был проанализирован путем изучения шероховатости поверхности зерна методами оптической микроскопии и его износостойкости по методике Микро-Деваль. Данное исследование показало, что изменение условной шероховатости поверхности на 5 мкм увеличивает степень износа при испытании более чем на 5 %.

Практическим способом контроля формы зерна, помимо методики погружения в парафин, описанной в [15], является определение содержания пластинчатых и игловатых частиц по методике ГОСТ 33053 или ГОСТ 8269.0, п.4.7, где пластинчатые (лещадные) и игловатые частицы описываются как частицы, толщина которых меньше их длины в три раза или более. Влияние именно этого параметра подчеркивалось зарубежными авторами при исследовании крупных заполнителей, используемых в Турции [13].

Следующим параметром, влияющим на износостойкость заполнителя асфальтобетонных смесей, является размер зерна. Несмотря на то, что способы испытания альтернативных фракций каменного материала, предусмотренные методиками Микро-Деваль и Нордик-Тест, учитывают уменьшение зерен и увеличение активной поверхности, участвующей в абразивном износе в процессе испытания, показатели износа, полученные для разных фракций дробления одной и той же породы, различны [13]. Данный фактор будет рассмотрен более подробно ниже.

Методики лабораторного контроля абразивной стойкости заполнителя

Существуют несколько способов лабораторного контроля износостойкости крупного заполнителя, широко используемых в настоящее время (рис. 1.):

- тест Микро-Деваль (по ГОСТ 33024);
- тест Нордик-Тест (по EN 1097-9).



Рис. 1. Испытательное оборудование при контроле износостойкости заполнителей асфальтобетонных смесей: 1 – установка Микро-Деваль, 2 – установка Нордик-Тест (иллюстрация авторов)

Тест Микро-Деваль регулируется ГОСТ 33024. В мировой практике существует две версии теста, представленные в европейской (EN 1097-1) и американской (ASTM D 6928) версиях. Обе версии основаны на простом тесте, разработанном в 1960-х годах во Франции, суть которого в испытании навески заполнителя во влажном состоянии в гладком вращающемся барабане с абразивной нагрузкой в виде шаров диаметром 10 мм. Отличие американской и европейских версий состоит в размерах испытываемых фракций, абразивных нагрузках и времени испытания [13].

ГОСТ 33024 является аналогом европейского стандарта EN 1097-1. Стандартная методика заключается в испытании навески ка-

менного материала размером 500 г в стальном гладком барабане в присутствии воды и абразивной нагрузки в виде стальных шаров диаметром 10 мм. При этом абразивная нагрузка по ГОСТ 33024 составляет 4500 г, в то время как по EN 1097-1 – 5000 г. Данное отличие может быть связано с неточностью, допущенной в старой версии стандарта EN 1097-1. Поэтому в данной статье целесообразно привести извлечения из указанных выше стандартов.

Согласно ГОСТ 33024-2014: *«Мерную пробу соединяют со стальными шарами и загружают в барабан. Общая масса мерной пробы вместе со стальными шарами должна составлять (5000±5) г.»*¹. Такая формулировка означает, что с учетом мерной пробы размером 500 г масса стальных шаров должна составлять 4500 г.

Согласно BS EN 1097-1:1996: *«Поместите каждый опытный образец в отдельный барабан. Добавьте в каждый барабан стальных шариков в количестве, достаточном для получения нагрузки (5000 ± 5) г.»*². Очевидно, в данном стандарте была допущена неточность в изложении, а именно в необходимости добавления массы испытуемого образца к массе абразивной нагрузки, которая должна составлять 5000 г. Не вдаваясь в подробный лингвистический анализ формулировки, приведем извлечение из более поздней версии данного стандарта.

Согласно SS-EN 1097-1:2011: *«Поместите каждый образец для испытаний в отдельный барабан. Добавьте (5000 ± 5) г стальных шариков в каждый барабан»*³. В данной версии стандарта приведена не допускающая двусмысленности формулировка с четким указанием размера абразивной нагрузки в виде стальных шаров – 5000 г. Такая абразивная нагрузка используется в исследованиях с использованием европейского стандарта или при применении данного стандартного определения нагрузки в рамках научных работ [13, 14, 16].

На основании вышеизложенного можно заключить, что российская версия теста Микро-Деваль, представленная в ГОСТ 33024, не отражает современные тенденции, не соответствует требованиям стандартов ЕС.

¹ Данная версия стандарта предоставлена электронным ресурсом Техэксперт. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124426> (дата обращения: 23.10.2020).

² англ. *«Place each test specimen into a separate drum. Add sufficient steel balls to each drum to give a charge of (5 000 ± 5) g.»*. Данная версия стандарта была представлена на сайте компании ServeRealInstrumentCo, URL: <http://servereal-instruments.com/wp-content/uploads/2013/06/BS-EN-1097-1-1996.pdf> (дата обращения: 23.10.2020).

³ англ. *«Place each test specimen into a separate drum. Add (5 000 ± 5) g of steel balls to each drum»*. Данная версия стандарта была представлена на сайте Svenska institutet för standarder(SiS), URL: <https://www.sis.se/api/document/preview/76465/> (дата обращения 23.10.2020).

Другим методом контроля износостойкости крупного заполнителя асфальтобетонных смесей является Нордик-Тест, который пока не стандартизирован. В настоящее время при проведении данного испытания используется европейский стандарт EN 1097-9, который рекомендуется к применению в таких регионах, как Татарстан, Ленинградская обл. и др.⁴. Принцип данного испытания аналогичен испытанию Микро-Деваль – тонкая абразивная нагрузка во влажном состоянии. Однако существует несколько существенных отличий. В то время как по методике Микро-Деваль требуется фиксированная масса испытуемого материала, согласно Нордик-Тест – фиксированный объем материала, примерно равный 377,36 см³, что является объемом, приведенным к объему 1000 г щебня плотностью 2,65 г/см³.

Испытательная установка Нордик-Тест представляет собой барабан диаметром 206,5 мм с тремя полками. Абразивная нагрузка создается стальными шарами массой 7000 г диаметром 15 мм [1].

Анализ статистических данных, собранных в лаборатории ГКУ «Главтатдортранс»

С момента введения в практику новых методов испытаний абразивной стойкости ГКУ «Главтатдортранс» осуществлял сбор статистических данных при контроле крупных заполнителей, используемых в Республике Татарстан. За трехлетний период (2018-2020 гг.) было проанализировано более 150 различных проб щебня марки М1000 и выше, поставляемого с карьеров Челябинской, Свердловской, Ростовской, Ленинградской и других областей.

С целью детального анализа, представленного в данной статье, были выбраны 74 пробы для характеристики материалов, поставленных с 26 карьеров за 2019-2020 гг. Анализ щебня, поставленного в 2018 г. был рассмотрен ранее в [12], поэтому в данной статье об этом не сообщается.

Пробы были испытаны по следующим методикам:

- испытание на дробимость в цилиндре (по ГОСТ 33030);
- испытание на дробление и износ в полочном барабане (по ГОСТ 33049);
- тест Микро-Деваль (по ГОСТ 33024);
- тест Нордик-Тест (по EN 1097-9).

⁴ «Регламент по требованиям к подборам составов всех видов горячих асфальтобетонных смесей, используемых при строительстве и ремонте асфальтобетонных покрытий в Санкт-Петербурге» от 2015 года. – URL: http://guckb.spb.ru/files/d_dsil_5.pdf (дата обращения: 24.10.2020).

Таблица 1

Статистика показателей используемых пород

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование поставщика</i>	<i>Прочность по дробимости в цилиндре, %</i>	<i>Потеря массы при испытании на дробление и износ, %</i>	<i>Потеря массы при испытании Микро-Деваль, %</i>	<i>Потеря массы при испытании Нордик –Тест, %</i>	<i>Количество испытанных проб, шт</i>	<i>Ориентировочный состав породы</i>
<i>2020 год</i>							
<i>1</i>	<i>ЗАО "Карьер Щелейка"</i>	2,9	3,8	4,6	5,1	1	Габбро
<i>2</i>	<i>ООО "Робур-Гранит"</i>	4,5	11,3	5,6	6,8	1	Гранит
<i>3</i>	<i>ООО "ПНК-Урал"</i>	3,9	9,5	5,9	7,3	1	Гранит, габбро-диабаз
<i>4</i>	<i>ООО "Сангалькский диоритовый карьер", проба 2</i>	2,0	9,2	6,4	9,1	3	Габбро-диорит
<i>5</i>	<i>ООО "Канзафаровский карьер"</i>	6,2	9,2	7,6	9,6	1	Диабазовый порфирит
<i>6</i>	<i>Уманжелинский</i>	3,9	8,7	9,0	10,1	1	Гранит
<i>7</i>	<i>ЗАО "Саткинское ДРСУ", проба 2</i>	4,5	12,1	8,9	10,2	1	Доломит, кальцит
<i>8</i>	<i>ООО "Сангалькский диоритовый карьер", проба 1</i>	4,4	8,8	8,8	11,4	4	Габбро-диорит
<i>9</i>	<i>ООО "Потенциал-Недра"</i>	6,0	11,1	9,8	12,2	1	Порфирит
<i>10</i>	<i>ООО "Спецтехпроект" Тимофеевское</i>	4,2	9,4	11,4	12,4	2	Порфириты
<i>11</i>	<i>АО "Визжайский каменный карьер"</i>	3,6	10,5	9,2	13,0	2	Габбро-диабаз
<i>12</i>	<i>ООО ТД "Уралдоломит"</i>	6,3	15,2	8,0	14,8	1	Доломит

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование поставщика</i>	<i>Прочность по дробимости в цилиндре, %</i>	<i>Потеря массы при испытании на дробление и износ, %</i>	<i>Потеря массы при испытании Микро-Деваль, %</i>	<i>Потеря массы при испытании Нордик –Тест, %</i>	<i>Количество испытанных проб, шт</i>	<i>Ориентировочный состав породы</i>
13	<i>ЗАО "Саткинское ДРСУ", проба 1</i>	4,8	15,3	9,6	15,1	1	Доломит, кальцит
14	<i>ООО "Атомстройкомплекс"</i>	6,1	5,1	10,3	16,3	1	Доломит, кальцит
15	<i>ООО "Михайловский карьер"</i>	8,0	14,3	11,0	16,6	1	Доломит, известняк
16	<i>ООО "Биянковский щебеночный карьер"</i>	10,4	18,9	10,2	17,3	6	Доломит, кальцит
17	<i>ООО "Южуралкамень", г. Сатка</i>	5,2	14,9	10,5	18,2	1	Доломит, кальцит
18	<i>ООО "Саткинская нерудная компания"</i>	7,3	19,4	13,1	18,6	1	Доломит, кальцит
19	<i>ЗАО "Геоинвест"</i>	3,4	13,3	16,5	19,1	3	Габбро
20	<i>ОАО "Уральский трубный завод"</i>	6,9	6,9	18,1	21,5	4	Габбро, горноблендид, при- месь железосодержащих руд
21	<i>ООО "Донской камень"</i>	7,4	19,4	18,6	23,9	1	Доломитизированный известняк
<i>2019 год</i>							
22	<i>ЗАО "Карьер Щелейка"</i>	2,3	7,5	5,1	6,1	1	Габбро, габбро-диабаз
23	<i>АО "Визжайский каменный карьер"</i>	3,5	10,3	7,1	9,2	2	Габбро-диабаз
24	<i>ООО "Сунский карьер"</i>	2,3	6,7	8,5	9,4	1	Габбро-диабаз
25	<i>ОАО "Уральский трубный завод"</i>	3,1	10,8	7,4	9,6	1	Габбро, горноблендид, с при- месью железосодержащих руд
26	<i>ООО "Сангалыкский диоритовый карьер"</i>	2,9	6,6	7,3	9,7	4	Габбро-диорит

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование поставщика</i>	<i>Прочность по дробимости в цилиндре, %</i>	<i>Потеря массы при испытании на дробление и износ, %</i>	<i>Потеря массы при испытании Микро-Деваль, %</i>	<i>Потеря массы при испытании Нордик –Тест, %</i>	<i>Количество испытанных проб, шт</i>	<i>Ориентировочный состав породы</i>
27	<i>ООО "Уральский щебень", Покровск-Уральского месторождения диоритов</i>	9,5	15,5	12,0	12,6	1	Диориты
28	<i>ОАО "Орское карьероуправление"</i>	3,0	7,7	11,4	12,7	2	Габбро-диабаз
29	<i>ООО "Донской камень"</i>	7,4	8,5	9,0	13,1	2	Доломитизированный известняк, песчаник
30	<i>ОП "Карьер Потаповский"</i>	4,3	10,2	13,1	13,2	1	Песчаник
31	<i>ООО "ПНК-Урал"</i>	4,7	12,5	11,3	13,8	3	Гранит, габбро-диабаз
32	<i>ООО "Порфирит"</i>	3,9	15,1	11,5	14,2	1	Порфирит
33	<i>ООО ТД "Уралдоломит"</i>	6,3	12,3	11,0	16,8	2	Доломит, кальцит
34	<i>ЗАО "Саткинское ДРСУ"</i>	5,9	11,4	12,2	17,0	5	Доломит, кальцит
35	<i>ООО "Южуралкамень"</i>	7,4	13,8	5,8	17,9	1	Доломит
36	<i>ООО "Саткинская нерудная компания"</i>	7,1	13,9	9,8	18,0	3	Доломит, кальцит
37	<i>ООО "Миньярский карьер"</i>	10,0	17,3	14,7	19,0	2	Доломит, кальцит
38	<i>ООО "Биянковский щебеночный завод"</i>	8,5	17,0	14,9	19,1	4	Доломит, кальцит
39	<i>ЗАО "Геоинвест"</i>	8,2	18,7	17,6	20,4	1	Габбро
40	<i>ООО "Надежденское"</i>	8,8	11,3	14,6	21,0	1	Известняк
41	<i>ООО "Доломит"</i>	8,7	18,1	14,0	26,2	1	Доломит, известняк

Как видно из **табл. 1**, наиболее износостойкими оказываются магматические породы интрузивного типа, далее следуют эффузивные породы и породы осадочного типа. Однако, как отмечалось ранее, нельзя оценивать износостойкость породы исходя лишь из её морфологии и типа. Например, в пунктах 7/13 и 4/8 данной таблицы указаны испытанные аналогичные породы, однако различия износостойкости для доломита «Саткинского ДРСУ» составляют 5,1 % по показателю Нордик-Тест, а для габбро-диорита «Сангалыкского диоритового карьера» – 2,3 %. Это понижает класс износостойкости по показателю Нордик-Тест с класса AN10 до класса AN14, что существенно уменьшает сферу его применения. Следует отметить, что показатели для одинаковых карьеров в разные годы отличаются, что также свидетельствует о большом разбросе показателей износостойкости. К аналогичным выводам можно прийти при сравнении полученных данных с данными предыдущих лет, представленных ранее в [12].

Следует отметить, что прочность каменной породы, определенная при испытании на дробимость в цилиндре, и её сопротивление дроблению и износу не имеют корреляции с абразивной стойкостью заполнителя, что противоречит выводам, полученным другими исследователями [10].

Для проверки гипотезы о влиянии пластинчатости и оценки степени её влияния в Челябинской области было отобрано несколько проб габбро-диабазы с разных участков крупного карьера по добыче породы (**табл. 2**). Подготовка проб осуществлялась на щековой дробилке, контроль кубовидности выполнялся визуально путем отбраковки образцов пластинчатой формы. На втором этапе испытания пластинчатость (лещадность) щебня искусственно увеличивалась путем добавления отбракованных ранее зерен пластинчатой формы. Таким образом, произошло увеличение износа по показателю Нордик-Тест на 2-7 %, что в случае проб № 1 и № 5 сужало возможную область применения щебня ввиду изменения марки по износостойкости. Данный эксперимент также подтверждает предыдущий тезис об изменении износостойкости в пределах одного карьера, что очевидно исходя из разброса износостойкости различных пород, несмотря на высокую их прочность (все породы отвечают требованиям для марки по дробимости M1400).

Таблица 2

Испытание различных образцов щебня, приготовленного из образцов габбро-диабазы, отобранного в Челябинской области

<i>Номер пробы</i>	<i>Испытание щебня (фр. 8-16), приготовленного из образца породы</i>				
	<i>Дробимость, %</i>	<i>Марка по дробимости, по ГОСТ 32703-2014</i>	<i>Потеря массы при испытании в шаровой мельнице, %</i>	<i>Марка по износостойкости, Нордик-Тест, по EN1097-9</i>	<i>Содержание зерен пластинчатой породы</i>
<i>1</i>	3	М 1400	8,7	AN10	4,3
<i>Проба № 1 с увеличенной пластинчатостью</i>			10,5	AN14	12,9
<i>2</i>	3	М 1400	10,1	AN14	3,2
<i>Проба № 2 с увеличенной пластинчатостью</i>			12,6	AN14	14,6
<i>3</i>	7,4	М 1400	20,9	AN30	3,8
<i>Проба № 3 с увеличенной пластинчатостью</i>			27,3	AN30	13,1
<i>4</i>	5,4	М 1400	14,8	AN19	4,2
<i>Проба № 4 с увеличенной пластинчатостью</i>			16,9	AN19	13,9
<i>5</i>	2,3	М 1400	8,9	AN10	3,5
<i>Проба № 5 с увеличенной пластинчатостью</i>			10,8	AN14	14,1

В одной из ранее опубликованных статей оценивалась степень влияния шероховатости поверхности на износостойкость заполнителя [15]. В данной статье для проверки предыдущих результатов было принято решение об испытании двух типов гравия, добываемого в Республике Татарстан. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели износостойкости гравия

<i>Тип гравия</i>	<i>Дробимость, %</i>	<i>Потеря массы при испытании по методике Нордик-Тест, %</i>
<i>Гравий 1</i>	9,3	8,4
<i>Гравий 2</i>	5,4	5,8

Несмотря на низкую ценность данных типов гравия с точки зрения сырья для крупного заполнителя асфальтобетонов, они характеризуются высокой оценкой по износостойкости. Данный факт необходимо учитывать при подборе материалов, так как их высокая износостойкость может быть следствием повышенной обкатанности частиц, что не является положительным качеством. Данный вопрос рассматривался в одной из предыдущих работ авторов [15] и в работах некоторых других ученых [17, 18]. Причиной этого является начальный период *притирки*, когда происходит затупление существующих шероховатостей и обкатка формы поверхности до стабильного состояния. Такое явление наблюдается при абразивном износе любых материалов, что достаточно подробно описано в литературе [15, 18]. При этом очевидно, что после периода *притирки* материал с высокой износостойкостью покажет более высокие результаты.

Следующим фактором, влияющим на износостойкость заполнителя, является размер испытываемой фракции. Для проверки было отобрано несколько проб заполнителя, разделенных на несколько фракций.

Методы испытания Микро-Деваль и Нордик-Тест предусматривают определение износостойкости альтернативных фракций заполнителя. Примеры износостойкости при испытании альтернативных фракций представлены на рис. 2 и 3.

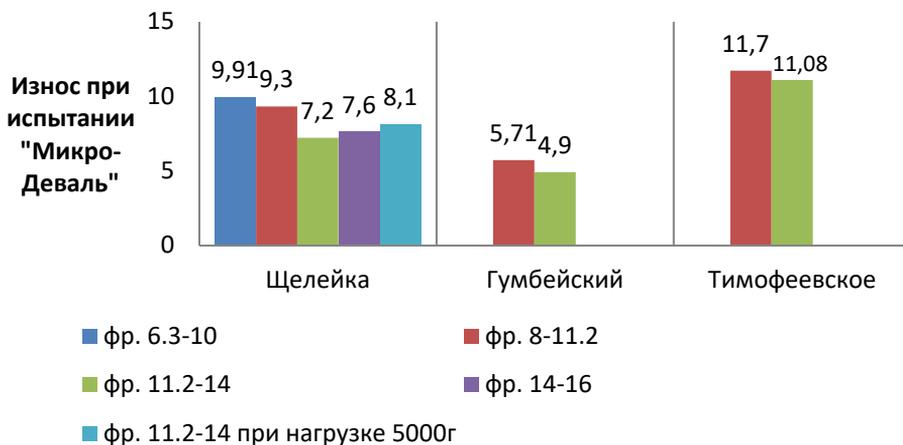


Рис. 2. Износостойкость альтернативных фракций по показателю Микро-Деваль для трех карьеров (диаграмма авторов)

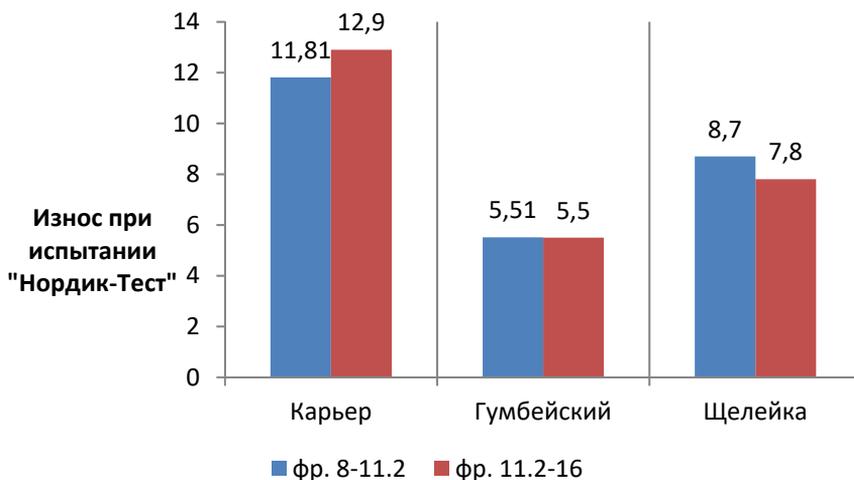


Рис. 3. Износостойкость альтернативных фракций по показателю Нордик-Тест для трех карьеров (диаграмма авторов)

Следует отметить, на примере щебня из карьера «Щелейка», что износостойкость различных фракций заполнителя отличается (**рис. 3**). Кроме того, во всех случаях при испытании фракции 11,2-14 – основная фракция по ГОСТ 33024, основной показатель меньше альтернативного (**рис. 3**). Напомним, что в предыдущем разделе сообщалось о массе абразивной нагрузки при испытании – в российской версии этого теста она меньше. Масса абразивной нагрузки при испытании альтернативных фракций же в российском и европейском стандартах не отличаются (**табл. 4**). То есть при использовании абразивной нагрузки массы 4500 г вместо 5000 г происходит занижение износа в процессе испытания, что влияет на результаты тестов. Это подтверждается на примере щебня из карьера «Щелейка», где фракция 11,2-14 была дополнительно оценена при количестве абразивной нагрузки, равной 5000 г.

Таблица 4

Предписываемые ГОСТ 33024 размеры абразивной нагрузки при испытании различных фракций по методике Микро-Деваль

<i>Размер испытываемой фракции, мм</i>	<i>Общая масса партии стальных шаров, г</i>
4-6,3	2000
6,3-10	4000
8-11,2	4400
11,2-14 (основная фракция)	4500
11,2-16	5400

Сама возможность испытания альтернативных фракций необходима при оценке качества заполнителя, так как некоторая часть асфальтобетонных смесей, используемых в городских условиях для устройства верхних слоев, имеет максимальный размер заполнителя менее 11,2 мм. Данное ограничение необходимо исходя из требования шумности готового покрытия. По мнению авторов статьи, для устройства качественных покрытий необходимо обеспечение возможности точной оценки износостойкости альтернативных фракций. Из этого следует, что для различных фракций одного материала могут отличаться параметры формы зерна –

их шероховатость и пластинчатость, что обусловит недостоверную оценку износостойкости, поскольку такая оценка получена только по основной фракции материала, рекомендуемой при испытании ГОСТ 33024. Таким образом, требуется целеориентированный контроль качества заполнителей, которого можно добиться лишь при изменении существующего способа контроля качества износостойкости заполнителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье дан анализ влияния на износостойкость таких факторов, как:

- тип породы;
- форма зерна;
- шероховатость поверхности зерна;
- размер испытываемой фракции.

На основе статистических данных, собранных ГКУ «Главтатдортранс», а также результатов дополнительных экспериментов для проверки гипотез, удалось сделать следующие выводы:

1. Наиболее износостойкими породами являются, как правило, породы интрузивного типа. Однако это не позволяет оценить износостойкость пород только исходя из их типа. Основываясь на практических данных, можно отметить, что существует множество примеров (табл. 1, 2) слабых пород интрузивного типа, демонстрирующих высокую прочность при испытании на дробимость, однако обладающих низкой износостойкостью.
2. Большую роль при определении износостойкости породы имеет стабильность показателей износостойкости. Так, в пределах одного карьера показатели износостойкости могут отличаться в силу различных факторов, оценить которые возможно лишь при испытании.
3. На износостойкость материала оказывает влияние форма зерна и обкатанность его поверхности или шероховатость. Форму зерна можно контролировать путем определения пластинчатости (лещадности) породы.
4. Различные фракции дробления одного и того же материала могут иметь различную износостойкость. Это может быть обусловлено изменением формы зерен различных фракций и параметров их поверхности.

На основе анализа существующих методов оценки износостойкости породы и практики повышения износостойкости покрытий выявлены следующие недостатки таких методов:

1. Нельзя оценивать износостойкость заполнителя как с учетом лишь его генезиса, типа породы и принадлежности к тому или иному месторождению, так и других механических параметров, поскольку абразивная стойкость является нестабильной величиной и зависит от множества изменяющихся параметров.
2. Вариант теста Микро-Деваль, используемый в Российской Федерации и описанный в ГОСТ 33024, является неактуальным и не соответствует аналогичному европейскому стандарту EN 1097-1 в части величины абразивной нагрузки. В связи с этим снижается точность при определении износостойкости альтернативных фракций, и занижается оценка абразивного износа в процессе испытания. Рекомендуется внести соответствующие поправки в методику испытания.
3. Заключение об износостойкости каменного заполнителя на основе испытания основной или альтернативной фракций, не соответствующих реальной испытываемой фракции или их соотношению при испытании широких фракций каменного материала, может служить причиной недостоверной оценки. Следует разработать процедуру оценки, которая должна соответствовать цели контроля заполнителя, а именно готового продукта, в котором соотношение фракций и используемые фракции одного материала могут меняться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баймухаметов Г.Ф. Новые методы абразивных испытаний в дорожном строительстве / Г.Ф. Баймухаметов // *Техника и технология транспорта*. – 2019. – № 11. – С. 22. – Электрон. данные. – URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-22CTC19.pdf> (дата обращения: 22.10.2020).
2. Стягов А.С. Анализ зарубежных методов испытаний асфальтобетонов верхних слоев покрытия / А.С. Стягов // *Известия РГСУ*. – 2015. – №19. – С. 208-214.
3. Makarov D.B. *Improving the Quality of Materials for Highway Construction* / D.B. Makarov, N.M. Krasinikova, N.M. Morozov, D.A.

- Ayupov, I.V. Borovskikh, O.V. Khokhryakov, E.M. Yagund, V.G. Khozin // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 11. – № 14. – P. 3035–3041. – DOI: 10.3923/jeasci.2016.3035.3041.*
4. Хафизов Э.Р. Определение интенсивности движения и состава потока на улично-дорожной сети г. Казани в рамках исследования образования дефектов на дорожных покрытиях / Э.Р. Хафизов, Е.А. Вдовин, Л.Ф. Мавлиев, А.Ю. Фомин, П.Е. Буланов, А.Р. Никметзянов // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета.* – 2017. – № 2. – С. 297-304.
 5. Хафизов Э.Р. Мониторинг глубины колеи на автомобильных дорогах г. Казань / Э.Р. Хафизов, Д.И. Шамсиев, Г.Ф. Баймухаметов // *Фундаментальные и прикладные науки сегодня. – Материалы XX международной научно-практической конференции.* – 2019. – С. 107-109.
 6. Snilsberg B. Asphalt pavement wear by studded tires – Effects of aggregate grading and amount of coarse aggregate: 6th Eurasphalt&Eurobitume Congress / B. Snilsberg, R. Garba Saba, N. Uthus / Prague, Czech Republic. – 1-3 June 2016. – DOI:[dx.doi.org/10.14311/EE.2016.072](https://doi.org/10.14311/EE.2016.072).
 7. Siebert D. Prall tests to study the effect of mortar on the wear of Norwegian asphalt mixtures: 6th Eurasphalt&Eurobitume Congress / D. Siebert, H. Mork. / Prague, Czech Republic. – 1-3 June 2016. – DOI:[dx.doi.org/10.14311/EE.2016.225](https://doi.org/10.14311/EE.2016.225).
 8. Zubeck H. Socioeconomic effects of studded tire use in Alaska. Final report / H. Zubeck, L. Aleshire, S. Harvey, S. Porhola, E. Larson // *University of Alaska Anchorage.* – 2004. – Электрон. данные. – URL: http://dot.alaska.gov/stwddes/research/assets/pdf/stud-tire_socioecon.pdf (дата обращения: 20.10.2020).
 9. Johansson E. Technological properties of rock aggregates / E. Johansson // *Luleå University of Technology. Luleå.* 2011. – Электрон. данные. – URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:990291/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 18.01.2020).
 10. Wang H. Development of morphological properties of road surfacing aggregates during the polishing process / H. Wang, D. Wang, P. Liu, Ch. Shulze, M. Oeser // *International Journal of Pavement Engineering.* – 2015. – № 10. – С. 1-14. – DOI: 10.1080/10298436.2015.1088153.
 11. Bhargav Prajwal Pathri. Abrasion wear characterization of natural stones subjected to foot traffic and correlation between abrasion and mechanical properties / Bhargav Prajwal Pathri, Chaudhary R., Harlal Singh Mali, Ravindra Nagar // *i-manager's Journal on Material Science.* – 2017. – Vol. 4, № 4. – С 10-17. – DOI: 10.26634/jms.4.4.10364.

12. Гайфутдинов Р.Ф. Апробация существующих методов оценки износостойкости щебня на примере каменных материалов, используемых в Республике Татарстан / Р.Ф. Гайфутдинов, Э.Р. Хафизов // *Известия КГАСУ*. – 2019. – № 4 (50). – С. 427-434.
13. Gökalp İ. Testing the abrasion resistance of aggregates including by-products by using Micro Deval apparatus with different standard test methods / İ. Gökalp, V.E. Uz, M. Saltan // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol. 123. – P. 1–7. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.141.
14. Wang D. Evaluation of aggregate resistance to wear with Micro-Deval test in combination with aggregate imaging techniques / D. Wang, H. Wang, Y. Bu, C. Schulze, M. Oeser // *Wear*. – 2015. – Vol. 338–339. – P. 288–296. – DOI:10.1016/j.wear.2015.07.002.
15. Гайфутдинов Р.Ф., Хафизов Э.Р. Исследование абразивного износа щебня для автомобильных дорог / Р.Ф. Гайфутдинов, Э.Р. Хафизов // *Известия КГАСУ*. – 2020. – № 1 (51). – С. 128-137.
16. Wu J. Analysis of coarse aggregate performance based on the modified Micro Deval abrasion test / J. Wu, Y. Hou, L. Wang, M. Guo, L. Meng, H. Xiong // *International Journal of Pavement Research and Technology*. – 2017. – № 11 (2). – P. 185–194. – DOI: 10.1016/j.ijprt.2017.10.007.
17. Tanyu B.F. A parametric study to improve suitability of microdeval test to assess unbound base course aggregates / B.F. Tanyu, A.B. Yavuz, S. Ullah // *Construction and Building Materials*. – 2017. – P. 328–338. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.173.
18. Ардашев Д.В. Определение величины механического износа абразивных зерен при илифовании // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение»*. – 2014. – Т. 14. – № 4. – С. 55–66.

L I T E R A T U R A

1. Bajmuhametov G.F. Novye metody abrazivnyh ispytanij v dorozhnom stroitel'stve / G.F. Bajmuhametov // *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. – 2019. – № 11. – S. 22. – *Elektron. dannye*. – URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-22CTC19.pdf> (data obrabotki: 22.10.2020)
2. Styagov A.S. Analiz zarubezhnyh metodov ispytanij asfal'to-betonov verhnih sloev pokrytiya / A.S. Styagov // *Izvestiya RGSU*. – 2015. – №19. – С. 208-214.
3. Makarov D.B. Improving the Quality of Materials for Highway Construction / D.B. Makarov, N.M. Krasnikova, N.M. Morozov, D.A.

- Ayupov, I.V. Borovskikh, O.V. Khokhryakov, E.M. Yagund, V.G. Khozin // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2017. – Vol. 11. – № 14. – P. 3035–3041. – DOI: 10.3923/jeasci.2016.3035.3041.
4. Hafizov E.R. *Opređenje intenzivnosti dvizheniya i sostava potoka na ulichno-dorozhnoj seti g. Kazani v ramkah issledovaniya obrazovaniya defektov na dorozhnyh pokrytiyah* / E.R. Hafizov, E.A. Vdovin, L.F. Mavliev, A.YU. Fomin, P.E. Bulanov, A.R. Nikmetzyanov // *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. – 2017. – № 2. – S. 297-304.
 5. Hafizov E.R. *Monitoring glubiny kolei na avtomobil'nyh dorogah g. Kazan'* / E.R. Hafizov, D.I. Shamsiev, G.F. Bajmuhametov // *Fundamental'nye i prikladnye nauki segodnya. – Materialy HKH mezhdu-narodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. – 2019. – S. 107-109.
 6. Snilsberg B. *Asphalt pavement wear by studded tires – Effects of aggregate grading and amount of coarse aggregate: 6th Eurasphalt&Eurobitume Congress* / B. Snilsberg, R. Garba Saba, N. Uthus / Prague, Czech Republic. – 1-3 June 2016. – DOI: [dx.doi.org/10.14311/EE.2016.072](https://doi.org/10.14311/EE.2016.072).
 7. Siebert D. *Prall tests to study the effect of mortar on the wear of Norwegian asphalt mixtures: 6th Eurasphalt&Eurobitume Congress* / D. Siebert, H. Mork. / Prague, Czech Republic. – 1-3 June 2016. – DOI: [dx.doi.org/10.14311/EE.2016.225](https://doi.org/10.14311/EE.2016.225)
 8. Zubeck H. *Socioeconomic effects of studded tire use in Alaska. Final report* / H. Zubeck, L. Aleshire, S. Harvey, S. Porhola, E. Larson // *University of Alaska Anchorage*. – 2004. – Elektron. dannye. – URL: http://dot.alaska.gov/stwddes/research/assets/pdf/stud-tire_socio-econ.pdf (data obrashcheniya: 20.10.2020).
 9. Johansson E. *Technological properties of rock aggregates* / E. Johansson // *Luleå University of Technology. Luleå. 2011. – Электрон. данные*. – URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:990291/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 18.01.2020).
 10. Wang H. *Development of morphological properties of road surfacing aggregates during the polishing process* / H. Wang, D. Wang, P. Liu, Ch. Shulze, M. Oeser // *International Journal of Pavement Engineering*. – 2015. – № 10. – S. 1-14. – DOI: 10.1080/10298436.2015.1088153.
 11. Bhargav Prajwal Pathri. *Abrasion wear characterization of natural stones subjected to foot traffic and correlation between abrasion and mechanical properties* / Bhargav Prajwal Pathri, Chaudhary R., Harlal Singh Mali, Ravindra Nagar // *i-manager's Journal on Material Science*. – 2017. – Vol. 4, № 4. – S 10-17. – DOI: 10.26634/jms.4.4.10364.

12. Gajfutdinov R.F. *Aprobaciya sushchestvuyushchih metodov ocenki iznosostojkosti shchebnya na primere kamennyh materialov, ispol'zue-myh v Respublike Tatarstan* / R.F. Gajfutdinov, E.R. Hafizov // *Izvestiya KGASU*. – 2019. – № 4 (50). – S. 427-434.
13. Gökalp İ. *Testing the abrasion resistance of aggregates including by-products by using Micro Deval apparatus with different standard test methods* / İ. Gökalp, V.E. Uz, M. Saltan // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol. 123. – P. 1–7. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.141.
14. Wang D. *Evaluation of aggregate resistance to wear with Micro-Deval test in combination with aggregate imaging techniques* / D. Wang, H. Wang, Y. Bu, C. Schulze, M. Oeser // *Wear*. – 2015. – Vol. 338–339. – P. 288–296. – DOI:10.1016/j.wear.2015.07.002.
15. Gajfutdinov R.F., Hafizov E.R. *Issledovanie abrazivnogo iznosa shchebnya dlya avtomobil'nyh dorog* / R.F. Gajfutdinov, E.R. Hafizov // *Izvestiya KGASU*. – 2020. – № 1 (51). – S. 128-137.
16. Wu J. *Analysis of coarse aggregate performance based on the modified Micro Deval abrasion test* / J. Wu, Y. Hou, L. Wang, M. Guo, L. Meng, H. Xiong // *International Journal of Pavement Research and Technology*. – 2017. – № 11 (2). – P. 185–194. – DOI: 10.1016/j.ijprt.2017.10.007.
17. Tanyu B.F. *A parametric study to improve suitability of microdeval test to assess unbound base course aggregates* / B.F. Tanyu, A.B. Yavuz, S. Ullah // *Construction and Building Materials*. – 2017. – P. 328–338. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.173.
18. Ardashev D.V. *Opređenje velichiny mekhanicheskogo iznosa abrazi-vnyh zeren pri shlifovanii* // *Vestnik YUUrGU. Seriya «Mashinostroenie»*. – 2014. – T. 14. – № 4. – S. 55–66.

.....

**WEAR RESISTANCE CONTROL SYSTEM OF
COARSE AGGREGATE OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES
AND ASSESSMENT OF FACTORS AFFECTING
ABRASIVE RESISTANCE OF CRUSHED STONE**

*Postgraduate Student R.F. Gayfutdinov,
Postgraduate Student G.F. Bajmukhametov
(SPI «Glavtadortrans»),
Graduate Student T.F. Gusmanova,
Ph. D. (Tech.), Associate Professor E.R. Hafizov
(Kazan State University
of Architecture and Engineering)
Contact information: 9600872235@mail.ru;
baimuhametovi@mail.ru;
tansylu65@gmail.com;
hafizov@kgasu.ru*

The article deals with new testing methods designed to wear resistance control of coarse aggregate of asphalt concrete mixtures used in pavements upper layers in the Russian Federation. The research carried out by State Public Institution «Glavtadortrans» to analyse these methods and road materials based on collected statistic data is reported.

The results of assessing the existing methods for wear resistance control of stone aggregate (Micro-Deval test, Nordic-Test test) and their verification are considered. The shortcomings of these methods are revealed and the recommendations for their elimination are done. The main factors influencing the wear resistance of coarse aggregate of asphalt concrete mixtures and methods of their assessment are analyzed.

Key words: *coarse aggregate, asphalt concrete, abrasion wear, wear resistance, Micro-Deval, Nordic Test, crushed stone, roads.*

Рецензент: канд. техн. наук М.А. Славуцкий (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 14.01.2021 г.