

УДК 625.825+519.25

Г.Б. Лялькина, Л.С. Щепетева, А.Н. Шухардина
G.B. Lyalkina, L.S. Schepeteva, A.N. Shukhardina

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЩЕБНЯ

STATISTIC ANALYSIS OF EXPERIMENTAL STRENGTH CHARACTERISTICS OF RUBBLE

Исследуется проблема неоднородности щебня в карьерах, несоответствия заявленной прочности фактической. Предложен способ практической проверки статистически достоверного соответствия марки добываемого щебня требуемому стандартному (нормативному) значению. Приведены примеры использования разработанной методики на материале щебня из карьеров Пермского края.

Ключевые слова: щебень, марка по дробимости, неоднородность фракций, автодорожные покрытия, статистические методы, безопасность в техносфере.

This article examines the problem of heterogeneity in the rubble careers a certified strength mismatch actual. In this paper we propose a way to test a statistically significant difference degree of crushing of extracted gravel to the required standard (normative) value. Examples of use of the developed technique are demonstrated on the material crushed stone from the quarries of the Perm region.

Keywords: rubble, mark for divisibility, heterogeneity of fractions, road covering, statistical methods, engineering safety.

Щебень – один из основных материалов, которые используются в дорожном строительстве. К щебню, который используется для приготовления автодорожных покрытий, предъявляются повышенные требования. От его качества зависит долговечность дорог и безопасность автодорожного движения. Щебень должен отвечать нормативным требованиям по прочности, морозостойкости, водостойкости, содержанию пылевидных частиц, зерен слабых пород и т.п. В зависимости от размера зерен щебень выпускают в виде следующих фракций: F (5–10) (размер зерен от 5 (3) до 10 мм); F (10–20); F (20–40); F (40–70), а также смесь М (5–20) (т.е. смесь фракций размером от 5 до 20 мм).

Щебень, полученный из скальных и рыхлых пород (например, из доломита, известняка), идеально подходит для основания дорожной одежды. Размер

зерен такого щебня может колебаться от 0,7 до 70 мм. Щебень, получаемый из магматических и метаморфических горных пород (габбро, гранит), – это щебень двух вариантов: А (5–20 мм) и В (20–40 мм). Именно он преимущественно используется для строительства покрытий из асфальтобетона.

Почти все месторождения щебня характеризуются неоднородностью камня по прочности, одним из важнейших прочностных качеств щебня является его марка по дробимости. При этом, как правило, даже сравнительно высокопрочные гранитные породы содержат слабые включения. Добываемый из карьеров щебень неоднороден по составу, а фактическая марка по дробимости добываемого щебня часто отличается от заявленной производителями, что влияет на качество дорожной одежды. Из-за неоднородности используемого щебня быстрее происходит его истирание, что влечет за собой образование неровностей на поверхности дорожного покрытия, снижение его прочности и дополнительные затраты на ремонт.

Зачастую производитель щебня заявляет, что характеристики щебня удовлетворяют нормативным требованиям. Но на практике по указанным выше причинам фактические значения прочности щебня (в том числе марки по дробимости) часто значительно отличаются от заявленных.

До сих пор заключения о несоответствии фактической марки по дробимости щебня, заявленной производителем, давались без какой-либо доказательной базы. Для того чтобы говорить о существовании этой проблемы, необходимо подтвердить наличие отклонения значений, воспользовавшись известными методами математической статистики. Для анализа были выбраны три карьера Пермского края: Утесовский, Луньевский и «Заготовка», поставляющие щебень из осадочных горных пород.

В официальных документах производитель щебня представляет следующую таблицу значений марок по дробимости своей продукции в зависимости от ее фракций (табл. 1) [1].

Таблица 1

Заявленные производителем марки щебня по дробимости
в зависимости от фракций

Карьеры	Фракция щебня	Марки по дробимости
Утесовский и Луньевский	F (5–10)	1200
	M (5–20)	1000
	M (5–40)	800
	F (20–40)	1000
	M (20–80)	1000
	F (40–80)	1000
«Заготовка»	M (5–80)	1200

В то же время Управлением автомобильных дорог и транспорта Пермского края и научно-производственной испытательной лабораторией «ДЮРИСС» были представлены следующие опытные значения марок по дробимости для каждого из указанных карьеров в период 2008–2012 гг. (табл. 2–4).

Таблица 2

Соответствие фракций щебня и опытных значений марок по дробимости,
Утесовский карьер

Фракция	2012 г.			2011 г.			2010 г.			2009 г.		
	F (5–10)	1200	1200	1200								
F (10–20)	1200	1200										
M (5–20)	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200				
F (20–40)	800	600	600									
F (40–80)								800	800	800	800	
M (10–15)	1200	1200	1200									

Таблица 3

Соответствие фракций щебня и опытных значений марок по дробимости,
Луньевский карьер

Фракция	2012 г.		2010 г.		2009 г.		2008 г.	
	F (5–10)							
M (20–80)					600	600	800	1000
M (5–20)	1000	1200	1200	800				
F (20–40)	1000	1000			600	600		
F (40–80)					800	800		

Таблица 4

Соответствие фракций щебня и опытных значений марок по дробимости,
карьер «Заготовка»

Фракция	2012 г.			2011 г.				2010 г.		
	F (5–10)	1200	1200	1200						
F (10–20)	1200	1200								
M (5–20)	1200	1200	1200	1200	1000	1200	1200	1000	1200	1200
F (20–40)	800	1200		1000	800	800	800	600	600	
F (40–80)				1000						

Анализ представленных в табл. 2–4 данных указывает на отличие опытных значений марок по дробимости для каждой из соответствующих фракций от заявленных производителем (табл. 1). Для доказательства значимости этого отличия можно воспользоваться статистическими методами обработки представленных данных [2]. Для этого необходимо перейти к числовым характеристикам марок по дробимости. С этой целью используется метод опре-

деления дробимости щебня по степени разрушения зерен при его сжатии в цилиндре¹. В согласии с этим методом в качестве числовой характеристики марки по дробимости выступают значения массы остатка щебня (%) на контрольном сите после просеивания.

Введем необходимые обозначения. Пусть x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – это опытные значения потери массы щебня после просеивания, n – число опытных данных. Важнейшие характеристики опытных данных – их математическое ожидание a и среднее квадратичное отклонение σ . Статистическими оценками величин a и σ являются среднее значение \bar{x} и исправленная дисперсия S^2 , вычисляемые соответственно по формулам:

$$a \cong \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \sigma \cong S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}.$$

Опытные данные о потерях массы для исследуемых карьеров приведены в табл. 5–7.

Таблица 5

Потеря массы для различных фракций щебня, Утесовский карьер, %

Фракция	2012 г.				2011 г.		2010 г.		2009 г.			
	F (5–10)	7,98	8,46	8,96								
F (10–20)	8,69	8,1										
M (5–20)	10,8	8,5	9,3	5,9	9,6	8	9,91	10,41				
F (20–40)	14	15,23	15,56									
F (40–80)									14,5	14,7	13,6	14,5
M (10–15)	8,1	7,09	9,02									

Таблица 6

Потеря массы для различных фракций щебня, Луньевский карьер, %

Фракция	2012 г.		2010 г.	2009 г.	2008 г.			
	F (5–10)							
M (20–80)					18	16	14,9	12,3
M (5–20)	11,60	9,44	8,99	13,1	11,4			
F (20–40)	12,20	11,50			15,4	15,54		
F (40–80)					13,1	14,9		

¹ ГОСТ 8269.0–97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (Постановление Госстроя РФ от 06.01.1998 г. № 18-1) (ред. от 02.04.2009 г.).

Таблица 7

Потеря массы для различных фракций щебня, карьер «Заготовка», %

Фракция	2012 г.			2011 г.				2010 г.	
F (5–10)	7,2	9,65	9,3						
F (10–20)	8,5	9,21							
M (5–20)	8,51	8,1	11,9	9,3	11,6	10	10,6	11,2	10,2
F (20–40)	13,44	10,54		12,2	14,5	13,02	13,9	15,9	15,9
F (40–80)									

В качестве примера выполним сравнение потерь массы щебня из карьера «Заготовка» для двух различных фракций: F (20–40) и смеси M (5–20), используя данные табл. 7. Отметим, что, в отличие от данных для фракции F (20–40), опытные данные, представленные в третьей строке табл. 7, в соответствии с ГОСТом² укладываются в нормативный интервал (до 11 включительно) потерь массы для фракции M (5–20), заявленной производителем для марки 1200. Среднее значение опытных данных для этой фракции: $\bar{x}_A = 9,05$, $S_A^2 = 2,48$.

Для фракции F (20–40) статистические оценки потерь массы вычисляются по данным из четвертой строки табл. 7: среднее значение $\bar{x}_B = 13,67$, а оценка дисперсии $S_B^2 = 3,30$.

Для оценки значимости различия значений \bar{x}_A и \bar{x}_B используем *t*-критерий Стьюдента. С этой целью сначала необходимо убедиться в однородности дисперсий S_A^2 и S_B^2 при помощи критерия Фишера *F*. Опытное значение $F^{\text{оп}}$ критерия Фишера *F*, в предположении о нормальности распределения потерь массы во времени, вычисляется по формуле

$$F^{\text{оп}} = \frac{S_A^2}{S_B^2},$$

где в числителе располагается большая из дисперсий.

Тогда опытное значение критерия Фишера

$$F^{\text{оп}} = \frac{3,30}{2,48} = 1,33$$

² ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (введен в действие Постановлением Госстроя РФ от 17.06.1994 г. № 18-43, ред. от 02.04.2009 г.).

меньше его критического значения $F^{кр} = F(\alpha; k_1, k_2)$, которое находится из статистических таблиц при значении уровня значимости $\alpha = 0,05$ и степенях свободы $k_1 = k_2 = 7$:

$$F^{оп} = 1,33 < 3,75 = F^{кр}(0,05; 7,7).$$

Дисперсии можно считать однородными и приступить к проверке значимости различия \bar{x}_A и \bar{x}_B при помощи критерия Стьюдента.

Опытное значение $t^{оп}$ критерия Стьюдента ищется по формуле

$$t^{оп} = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{S_A^2 + S_B^2}} \sqrt{n},$$
$$t^{оп} = \frac{|9,05 - 13,67|}{\sqrt{2,48^2 + 3,30^2}} \sqrt{8} = 5,44.$$

Критическое значение $t^{кр}$ распределения Стьюдента при том же значении уровня значимости и при числе степеней свободы $K = 14$ (число опытных данных без двух)

$$t^{кр} = t(0,05; 14) = 2,14.$$

Поскольку

$$t^{оп} = 5,44 > 2,14 = t^{кр},$$

то расхождение между значениями потери массы для щебня сравниваемых фракций F (20–40) и M (5–20) является значимым, что указывает на неоднородность состава щебня в карьере «Заготовка», что свидетельствует о несоответствии фактического значения марки по дробимости и заявленного производителем.

Таким образом, доказано, что карьеры Пермского края, являющиеся поставщиками щебня для дорожного строительства, часто заявляют завышенную марку щебня по прочности. В реальных условиях щебень, состоящий из смеси фракций, содержит в своем составе щебеночный материал (отдельные фракции), имеющий фактическую прочность ниже заявленной (например, вместо 1000 фактическая марка 600).

В соответствии с ГОСТ 9128–2009 щебень из осадочных горных пород, входящий в состав горячего асфальтобетона I марки всех типов и II марки типа А, должен иметь марку по дробимости не ниже 1000. Значит, опираясь на наше исследование, нельзя рекомендовать использование щебня из карьеров Утесовский, Луньевка и «Заготовка» для приготовления асфальтобетона соответствующих марок и типов.

В соответствии с СНиП 3.06.03–85 щебень из осадочных пород относится к легкоуплотняемому. При расчете щебеночных оснований по ОДН 218–048 модуль упругости у легкоуплотняемого щебня выше модуля упругости трудноуплотняемого в среднем на 100 МПа. Щебень из осадочных пород наиболее приемлем для устройства основания, но несоответствие заявленных марок по прочности фактическим снижает срок службы щебеночных оснований.

Список литературы

1. ОАО «Западуралнеруд» продукция [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.zapaduralnerud.ru/products/> (дата обращения: 8.05.2014).
2. Лялькина Г.Б., Бердышев О.В. Математическая обработка результатов эксперимента. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 78 с.

Получено 10.04.2015

Лялькина Галина Борисовна – доктор физико-математических наук, профессор, ПНИПУ, АДФ, e-mail: bg@pstu.ru.

Щепетева Людмила Станославовна – кандидат технических наук, доцент, ПНИПУ, АДФ, e-mail: adfsad@pstu.ru.

Шухардина Анна Николаевна – студентка, ПНИПУ, АДФ, гр. САД-14-1М, e-mail: anyutka.sh@mail.ru.