

Оценка щебня для балластировки пути тестом Los Angeles

Для испытания горных пород используется простой и быстрый стандартный метод Los Angeles. Однако его результаты зависят от многих факторов, чисто статистическая оценка которых может привести к их ошибочной интерпретации. Важно правильно оценить влияние различных факторов, например формы частиц, минералогического и химического состава материала, его структуры и текстуры, типа щебнедробильной установки и т. д., выявленных многочисленными испытаниями и исследованиями.

Сопrotивляемость механическим нагрузкам при подбивке пути и движении подвижного состава — важный фактор, влияющий на срок службы щебня, используемого в качестве балласта в верхнем строении пути. Для определения прочностных свойств частиц горных пород, из которых приготовлен щебень, применяют различные тесты — Deval, Los Angeles (LA), ударного разрушения и др., которые базируются на принципе шаровой мельницы, а также методе сжатия (удара).

Тест LA, использующий принцип шаровой мельницы, был введен в США в 1916 г. для испытаний частиц горных пород, а в 1938 г. включен в перечень стандартов Американского общества по испытанию материалов (ASTM). С тех пор он получил широкое распространение, что объясняется, вероятно, его простотой, быстротой, надежностью и минимальными затратами. В настоящее время тест LA признан эталонным методом и введен во многие европейские стандарты для частиц горных пород (EN 12620 для бетона, EN 13043 для асфальта, EN 13450 для щебня).

Суть теста Los Angeles

Тест LA применяется для испытаний частиц горной породы при их стандартном гранулометриче-

ском составе. Частицы породы помещаются во вращающийся барабан с определенным числом стальных шаров. Поперечные перекардины на внутренней поверхности барабана в процессе его вращения захватывают испытуемый материал вместе с шарами. При падении шаров, достигших верхней точки барабана, в основном происходит истирание и дробление щебня. Степень разрушения частиц породы после испытания (LA-коэффициент) определяется как отношение суммарной массы частиц с размерами менее 1,6 мм к общей массе испытуемого щебня. Условия испытаний для частиц с размерами 31,5–50 мм и 40–50 мм при исходной массе щебня, равной 10 кг, определяются европейским стандартом EN 13450 (табл. 1).

Совершенствование метода

Ранее в стандартах ASTM использовали исходное количество щебня массой 5 кг. Результаты экспериментов по EN 13450 показали,

что его необходимо удвоить. При этом уменьшится влияние отдельных слабых частиц, однако заметно ухудшится разрешающая способность метода, которую невозможно компенсировать повышением массы шаров с 5 до 5,21 кг.

Принцип деления щебня по категориям согласно EN 13450 основан на том, что LA-коэффициент снижается по мере возрастания сопротивляемости кусков породы механическим нагрузкам: чем он меньше, тем лучше щебень.

Существующие проблемы

Использование теста LA осложняется следующим:

- отсутствием эталонного материала, необходимого для градуировки (калибровки) испытательных установок и их точного сопоставления друг с другом;
- зависимостью результатов испытания от многочисленных факторов, из-за чего статистическая обработка может привести к их ошибочной интерпретации;
- отсутствием систематических исследований и корреляций с данными технической петрографии.

Твердость минералов и пород

Твердость исследуемых материалов — основной параметр при прочностных испытаниях. Классификацию пород в минералогии выполняют исходя из их генетической природы. Эта классификация является предпосылкой для исследований пород, однако она строго не отражает свойства их частиц: форму, разрушаемость и твердость материала, его структуру, текстуру, состав и т. д. Отсюда следует, что выбирать породу с использованием этой классификации не имеет смысла.

Таблица 1

Исходные величины при испытаниях LA (по EN 13450)

Размеры частиц, мм	Масса щебня, кг	Масса шаров, кг	Число шаров	Число оборотов барабана	Частота вращения барабана, об/мин
31,5 – 40	5 ± 0,05	5,21 ± 0,09	12	1000	31 – 33
40 – 50					

Таблица 2

Упрощенный фрагмент из классификации твердости пород по стандарту SN 670115 (Швейцария)

Твердость породы	Средняя прочность на сжатие, Н/мм ²	Доля твердых минералов, % масс.	Примеры
Высокая	Выше 120	Выше 25	Риолиты, базальты, кремнистые известняки, альпийские песчаники
Средняя		Ниже 25	Твердые известняки и доломит, серпентиниты

Классификация по техническим критериям, принятым в минералогии и петрографии, более пригодна для оценки прочности. Твердость — очень сложное свойство, которое отражает сопротивляемость минерала образованию царапин (твердость по Моосу). К твердым (выше 6 ед. по Моосу) относят минералы, царапающие сталь. Самые распространенные среди них — кварц и полевой шпат. Под минералами средней твердости (ниже 5 ед.) понимают такие, на которых сталь оставляет царапины: известковый и доломитовый шпаты, серпентиниты. Мягкими или имеющими незначительную прочность являются минералы, которые могут быть поцарапаны, расколоты или раздавлены ногтем (твердость ниже 2,5 ед.): тальк, хлориты, слюда.

Важнейшей задачей технической петрографии является определение твердости породы. В табл. 2 приведена выдержка из классификации твердости горных пород по SN 670115.

Результаты наблюдений

Геотехническая лаборатория Федеральных железных дорог Швейцарии (SBB) в рамках проекта по оценке щебня для балласта с 1990 г. проводит исследования методом LA. Сравнение их результатов с поведением щебня в пути и с результатами, полученными другими лабораториями, позволило сделать следующие выводы:

- на протяжении нескольких лет наблюдаются систематический разброс LA-коэффициентов, определявшихся сторонними лабораториями;
- при исследовании одной и той же породы на разных установках

получаются совершенно разные результаты, которые не могут быть объяснены с точки зрения петрографии;

- установлены систематические расхождения с другими методами измерений (прочность на сжатие насыпной пробы, ударное разрушение).

Все это привело к необходимости проведения разносторонних исследований с целью получения репрезентативных результатов.

Испытательные машины для теста LA

В нескольких лабораториях проведены испытания с исходным количеством материала 5 и 10 кг. Образцы отбирали по техническим и минерало-петрографическим критериям. При этом отсортировывали образцы, однородные по петрографии, форме частиц, кубичности и характеру граней, испытывали их методом LA, применяя машины различных изготовителей. Испытания трех аналитических проб породы каждого

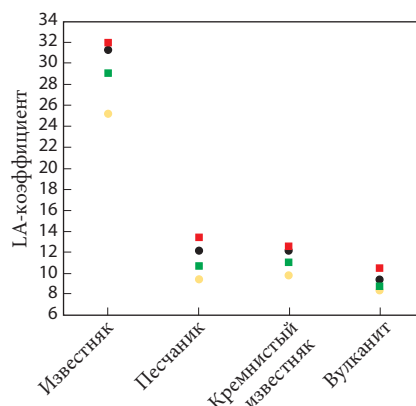


Рис. 1. Результаты испытаний методом Los Angeles щебня из разных горных пород. Испытания проводились на лабораторных машинах нескольких изготовителей

вида проводили разные лаборатории на собственных машинах. В заключение две пробы породы каждого вида отсылали в одну лабораторию для отделения методом грохочения частиц размером менее 1,6 мм. Для оставшегося материала проводили контрольное грохочение.

При испытаниях на нескольких машинах были получены различные значения LA-коэффициента (рис. 1). Испытания однородных проб одинакового состава на машинах одного изготовителя не дали заметных расхождений в значениях LA-коэффициентов. Последующие испытания в соответствии с проектом европейского стандарта prEN 13450:1997 показали, что при исходном количестве материала 10 кг на породах средней твердости расхождение меньше (примерно вдвое), но при твердых породах различия сохраняются.

Форма частиц щебня

Неправильной формы многогранники в ходе испытаний методом LA преобразуются в неправильные шары или эллипсоиды с образованием песка (размер песчинок менее 1,6 мм). При этом происходит зависящее от формы частиц изменение объема. Отсюда следует, что тест LA, скорее всего, оценивает искусственно вызванные эффекты, не отражающие фактической ударной прочности и прочности на истирание. Полное разрушение частиц часто происходит в породах, имеющих нарушение текстуры (например, микротрещины).

Компания Steinmetz приготовила из твердого альпийского песчаника, серпентинита и альпийского известняка средней твердости образцы пород, форма которых была близка к кубикам и параллелепипедам. На машинах для испытаний тестом LA и на установках Deval, добавляя в барабан кварцевый песок, из них удалось получить частицы приблизительно шарообразной формы. На образцах из твердых пород можно было лишь несколько скруглить грани кубиков

(рис. 2), большей сферичности формы достичь не удалось. При этом LA-коэффициент был равен 10. Искусственно скругленные образцы подвергали затем дальнейшим испытаниям по методу LA, в результате которых был получен LA-коэффициент, равный 3. В породах средней твердости этот коэффициент для искусственно скругленных образцов оставался на уровне 10. Это указывает на то, что для твердых пород LA-коэффициент, вероятно, стремится к нулю, если частицы щебня имеют форму, близкую к сферической.

Кубичность

Коэффициент LA для щебня заметно возрастает с повышением доли частиц кубической и особенно плоской формы (рис. 3). У последних по отношению к кубическим LA-коэффициент может вообще удвоиться, особенно если такие частицы концентрируются в исследуемой фракции. Это объясняется тем, что сильно уплощенные частицы во время эксперимента значительно раньше разрушаются, превращаясь в более мелкую фракцию, а LA-коэффициент в принципе возрастает со снижением размеров частиц.

Петрографическая структура

При испытаниях тестом LA нередко сложно определить, что именно отражает LA-коэффициент: наличие отдельных мягких частиц щебня или прочность пробы в целом. Единственная мягкая частица щебня, попавшая в пробу, может ухудшить величину коэффициента на два пункта при исходной массе щебня 5 кг или на один пункт при 10 кг.

Корреляция с минералопетрографическими свойствами

Очень важно определить зависимость между минералопетрографическими свойствами и LA-коэффициентом частиц горных



Рис. 2. Кубические образцы твердых пород после испытаний по методу LA в машине Deval

пород. Это можно выполнить экспериментально, отобрав для исследования породы по внешним простым критериям. Результаты эксперимента следует интерпретировать на базе технической петрографии. Для такого исследования пригоден щебень, так как его готовят исключительно из твердых и компактных пород, благодаря чему число переменных параметров в значительной степени уменьшается. Если, кроме того, пробы были однородными по петрографическому составу, форме частиц, кубичности и свойствам граней, можно искать корреляцию LA-коэффициента с петрографическими характеристиками.

Чтобы найти эту корреляцию, брали пробы щебня различных пород. Для дополнительных исследований фирмой Steinmetz были приготовлены пробы специальных составов. Текстуру, струк-

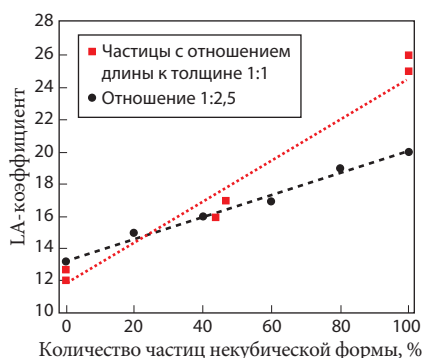


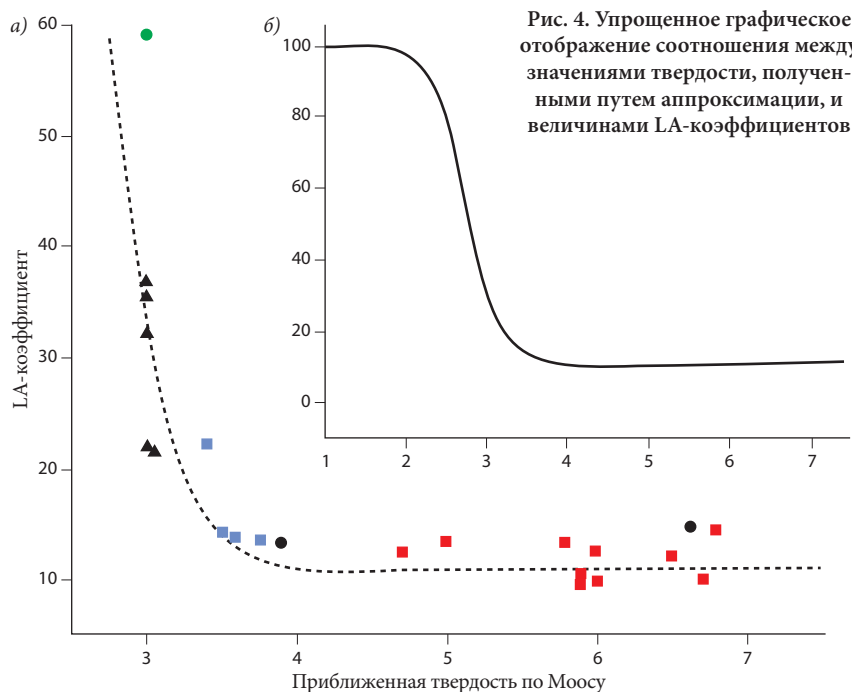
Рис. 3. Влияние доли частиц некубической формы на величину LA-коэффициента

туру и минералогический состав проб определяли, проводя петрографические исследования на тонких шлифах: при этом применяли поляризационную микроскопию и рентгеновскую дифрактометрию. Для компактных и прочных на сжатие горных пород, в которых отсутствовали структурные или текстурные дефекты, твердость минерала оставалась преобладающей среди остальных свойств.

Приблизительно рассчитанная твердость по Моосу наиболее часто встречающихся минералов была соотнесена с результатами определения соответствующих LA-коэффициентов. На рис. 4 показана корреляция между значениями твердости по Моосу, полученными путем аппроксимации, и величинами LA-коэффициента. Полученная связь между этими параметрами выглядит разумной для твердых и компактных пород, не имеющих значительных структурных и текстурных проблем. Значения LA-коэффициентов были определены в 1997–2004 гг. (см. рис. 4, а) на относительно однородных и специально подготовленных пробах согласно стандартам SBB (5 кг щебня и 5 кг шаров). Кубичность, форма и размеры частиц были не всегда идентичными, что, вероятно, объясняет отклонения от значений, соответствующих теоретической модели (см. рис. 4, б).

Мягкие известняки имели LA-коэффициент около 60. Отсюда был сделан вывод, что у еще более мягких пород (слюдяной, хлоритный и тальковый сланцы) LA-коэффициент близок к 100, а у щебня из минералов более твердых, чем сталь (гранаты, корунды), он стремится к нулю.

Исследования методом LA, выполненные на минералах средней твердости (3–4 ед. по Моосу), показали, что карбонатные минералы не оправдали себя в качестве щебеночного балласта на линиях с высокой грузонапряженностью. Применение щебня средней твердости на таких линиях ведет к преждевременному старению балласта, вследствие



чего возникают дефекты с последствиями, требующими высоких затрат на их устранение. Хотя остальные факторы влияния (в частности, плотность, точный гранулометрический состав, число испытываемых частиц, поверхностные свойства и т. п.) также играют определенную роль, твердость по Моосу является решающим параметром.

Корреляция с практическими наблюдениями

Явления, которые наблюдаются на практике и предсказаны исследованиями, происходят непосредственно под шпалами — это сжатие и соответствующее истирание частиц щебня балласта при прохождении поездов. На железных дорогах Швейцарии это свойственно исключительно щебню из пород средней твердости. На твердом балласте даже при большом и длительном нагружении наблюдаются лишь незначительные воздействия.

Ударные нагрузки и другие усилия, приводящие к истиранию, передаются на частицы щебня через шпалу. Результаты действия этих сил наблюдаются на контактирующих поверхностях частиц щебня или вдоль их кромок. При желе-

зобетонных шпалах истирание частиц проявляется сильнее, чем при деревянных.

Гранулометрический состав продуктов износа щебня в местах, где происходит сжатие, определяли методом лазерной гранулометрии и сопоставляли с составом частиц величиной менее 1,6 мм, получаемых при экспериментах на известняке. После экспериментов гранулометрический состав определяли сухим грохочением (частицы с размерами 1,6–0,25 мм) и отстаиванием раствора (частицы с размерами до 6 мкм). Если тестом LA выявлялись более крупные фрагменты щебня, то, вероятно, нагрузки были выше эксплуатационных. Таким образом, можно предположить, что коэффициенты LA отображают важнейшие физические свойства породы только при шарообразной форме частиц щебня. Для таких частиц из твердой породы LA-коэффициенты приближаются к нулю.

Тест LA особенно доказателен для пород средней твердости. При учете различных влияющих факторов он особенно пригоден для идентификации по степени прочности пород средней и высокой твердости. Дефекты пород (гидротермальные изменения в минера-

лах, микротрещины, текстурные проблемы), кроме того, могут быть выявлены по отклонениям от обычных значений LA-коэффициентов.

Выводы и перспективы

Тест LA является эффективным методом испытаний; его следует применять для классификации и качественного контроля щебеночного балласта. Однако существует ряд аспектов, определяющих необходимость дальнейших исследований. Так, LA-коэффициент по мере повышения твердости породы приближается к предельному значению, которое проявляется уже на определенных карбонатных породах, богатых доломитом или анкеритом. Следовательно, более твердые виды щебня не могут быть дифференцированы тестом LA.

Дальнейшие исследования показали также, что на основе теста LA в принципе могут быть классифицированы только немногие категории щебня. Этим объясняется наличие в стандарте SN 670110 только двух категорий щебня. Кроме того, результаты теста LA в решающей степени зависят от формы частиц, вида дробильной установки, петрографии, типа применяемой машины.

Для более четкого определения прочности щебня следует использовать другой метод испытаний.

Отсутствие общепринятых рекомендаций по настройке машин для теста LA с целью калибровки щебня является недостатком как исходного стандарта ASTM C 535, так и последующего EN 13450. Представляются целесообразными следующие подходы к калибровке:

- на основе различия между компактными известняками средней твердости и твердыми горными породами с частицами стандартных форм;
- в зависимости от формы частиц (кубические или плоские) для пород одинаковых видов.