УДК 662.613.11:553.985 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-1-33-41

Оценка прочностных свойств грунтов, укрепленных эмульсионными связующими при обеспыливании карьерных автодорог

Кошкаров В. Е.[1], Неволин Д. Г.[2], Кошкаров Е. В.[3]
[1] Уральский государственный горный университет
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)
[2] Уральский государственный университет путей сообщения
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66)
[3] Научно-исследовательский центр «Асфальтит»
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Опалихинская, 21)

Реферат

Предмет исследования. *В геотехнологии существует проблема оперативной сравнительной оценки прочности грунта при целенаправленном изменении его физико-технических свойств. Особенно остро эта проблема стоит при применении минеральных и органических вяжущих для укрепления, упрочнения грунта или связывания его с теми или иными целями, например при закреплении откосов, пылящих поверхностей техногенных отвалов, хвостохранилищ и при обеспыливании карьерных дорог.*

Цель исследования. *Эксперименты по изысканию эффективных технологий обеспыливания карьерных автодорог и техногенных массивов имеют целью обеспечить производство доступными и недефицитными компонентами.*

Методология. *В настоящей работе предложен и апробирован простой метод определения физико-технических свойств грунтов – прочности сцепления пылеватых частиц и объемной доли водонасыщения – после их обработки пылесвязующими веществами. Рекомендован экспресс-метод определения изменения физико-технических свойств грунта в результате воздействия пылесвязующих веществ, предложены схемы пресс-форм и оборудования для проведения испытаний.*

Результаты. *Показана высокая эффективность эмульсионных нефтесвязующих при обеспыливании карьерных автодорог и техногенных массивов в сравнении с водорастворимыми и кристаллогидратными связующими веществами.*

Область применения результатов. *Технологии обеспыливания органическими нефтесвязующими – эмульсиями из тяжелых нефтяных остатков – обеспечивают безопасность горных работ, охрану недр и окружающей среды.*

Ключевые слова: *карьерные автодороги; техногенные массивы; обеспыливание; пылесвязующие; лигносульфонат; цемент; битумные эмульсии.*

Введение. В геотехнологии существует проблема оперативной сравнительной оценки прочности грунта при целенаправленном изменении его физико-технических свойств. Особенно остро эта проблема стоит при применении минеральных и органических вяжущих для укрепления, упрочнения грунта или связывания его с теми или иными целями, например при закреплении откосов, пылящих поверхностей техногенных отвалов, хвостохранилищ и при обеспыливании карьерных дорог [1–5].

В настоящей работе предложен и апробирован на ряде горно-металлургических объектов метод физико-механической оценки прочности грунтов, рудных материалов и мелкозернистых техногенных образований (шламов, зол, металлургических пылей) с использованием способа прессования при различных давлениях с последующим определением прочностных характеристик брикетов. Особен-

ность метода заключается в том, что в отличие от средних и больших давлений прессования, применяемых ранее [6], используются малые – до 5,0–5,5 МПа, которые моделируют условия взаимодействия вяжущих с минеральным материалом при использовании их в геотехнологиях с малыми нагрузками при связывании и укреплении грунта или техногенных образований. Отличие заключается и в том, что используется малая пресс-форма рабочим диаметром 2,0–2,5 мм. Данный метод позволяет оперативно на месте производства работ или при контроле качества закрепленных грунтов и пылящих поверхностей определить степень когезионного упрочнения грунта и выбрать наиболее подходящие для данных объектов и условий применения вяжущие материалы и их дозировки.

Геологические структуры, а также карьерные автодороги, сложенные породой или наносами антропогенного генезиса, отличаются по своему составу (химическому, гранулометрическому) и свойствам (физико-механическим, фильтрационным, сорбционным и др.) от фоновых пород, их вмещающих [2–5]. Свойства поверхности определяются преимущественно техногенными процессами. Техногенные воздействия на горные породы и массивы часто сопровождаются их дроблением и измельчением. При этом образуются мелкодисперсные частицы разной формы, которые характеризуются чрезвычайно большой площадью и нарушенной поверхностью. В данной работе рассматривается вариант склеивания этих разобщенных частиц, изменения их поверхностных свойств и оценки физико-механических свойств адгезионного контакта при обработке различными, используемыми в отрасли, связующими. В качестве связующих для целей обеспыливания техногенных массивов и карьерных дорог зачастую используются органические связующие в эмульгированном виде [7–15].

Цель работы. Разработать эффективный экспресс-метод оценки прочностных свойств грунтов и техногенных материалов, укрепленных органическими и неорганическими вяжущими, по прочности брикетов. Предложить метод укрепления грунтов техногенных массивов и пылящих поверхностей, в том числе эксплуатируемых карьерных автодорог, с помощью эмульгированных тяжелых нефтяных остатков (ТНО). Получить зависимости прочности брикетов из укрепленных тяжелыми нефтяными остатками грунтов, позволяющие оптимизировать состав минеральной части (цемента) и органического связующего материала, а также их соотношение для практического применения при обеспыливании карьерных автодорог.

Методология. В связи с тем что связующие вещества используются для укрепления соединительных слоев дорожных одежд, обеспыливания и закрепления пылящих поверхностей, планируется отбирать аналитическую пробу материалов, составляющую объект воздействия – поверхность откоса техногенного массива, верхний слой дорожной одежды карьерной автодороги, пробы из объема наносов терриконов и породных хвостохранилищ. Проба просеивается и объединяется с различным содержанием пылесвязующих веществ, брикетируется в специальной пресс-форме (диаметром d = 25,2 мм) при низком давлении прессования (менее 4,5 МПа) и испытывается на водостойкость и при одноосном сжатии. В результате исследования устанавливается оптимальный тип связующего, а также его целесообразный расход по критериям достаточной когезионной прочности при склеивании частиц и удовлетворительной атмосферной стойкости по остаточному объему пор.

В качестве органических связующих веществ использовали такие тяжелые нефтяные остатки, как асфальты пропановой деасфальтизации гудронов (АПД), прямогонные крекинг-остатки (КО).

Сущность метода заключается в определении прочности при одноосном сжатии образцов пылей со связующим. Для целей эксперимента были отобраны раз-

ные грунты и тонкодисперсные материалы, закладываемые в отвалы, просеянные через сито № 0064 с размером ячейки 0,064 мм. В ходе эксперимента исследована одна из физико-механических характеристик брикетов – прочность на одноосное сжатие $P_{сж}$ в зависимости от расхода связующего.

Для выявления зависимости прочности брикетов от расхода вяжущих и определения оптимальных расходных интервалов проводили серии экспериментов по наработке и испытанию на сжатие брикетов, полученных в пресс-форме $d = 25$ мм.

Наработку производили на гидравлическом прессе Опытного завода «ВУХИН», испытания на прочность – на автоматическом лабораторном прессе дорожной лаборатории «УралДорНИИ» (г. Екатеринбург). Давление прессования составляло 4,5–5,5 МПа, выдержка при давлении прессования – 5 с. Брикеты из пресс-формы извлекали механическим способом, для предотвращения заклинивания пресс-форма смазывалась индустриальным маслом.

На рис. 1 представлена форма для изготовления образцов (брикетов), имеющая следующие геометрические размеры: H – высота цилиндра, $H = 70$ мм; h_1 – высота верхнего вкладыша, $h_1 = 35$ мм; h_2 – высота нижнего вкладыша, $h_2 = 35$ мм; d – диаметр цилиндра, $d = 25{,}2$ мм; δ – толщина цилиндра, $\delta = 10$ мм; S – площадь образца, $S = 5$ см^2.

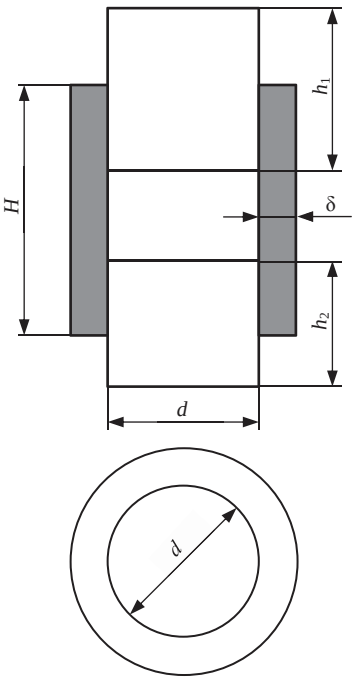

Рис. 1. Форма для брикетирования образцов пылей со связующим
Fig. 1. A briquetting form for dust samples with binders

Результаты. Выполнено три серии экспериментов. Результаты экспериментов представлены на рис. 2. В качестве рабочей шихты использовали смесь доменного шлама, аспирационной пыли и рудного концентрата. Состав шихты, массовая доля: 40 % доменного шлама естественной влажности; 40 % – рудного концентрата; 20 % – аспирационной пыли.

В первой серии в шихту заданного состава добавляли минеральное вяжущее – цемент. Во второй серии в аналогичную шихту добавляли органическое связующее (экспериментальную эмульсию из ТНО). В третьей серии в шихту с зафиксированным расходом минерального вяжущего (массовой долей 2,5 %) добавляли разное количество эмульсии.

Результаты экспериментов показали, что прочность брикетов из шламово-рудной шихты без связующего после сушки в естественных условиях в течение двух суток (48 ч) колеблется от 4 до 5,5 МПа. Однако прочность таких брикетов на сбрасывание (хрупкость) достаточно низка и составляет до 50 % и более (по выходу фракции менее 10 мм). Причем при сжатии брикеты без связующего разрушаются мгновенно и до мелких составных элементов (шихты), связность и пластичность таких брикетов отсутствует.

При добавлении цемента (рис. 2, *кривая 1*) прочность брикетов на сжатие повышалась до 7,8–8,0 МПа. Особенно заметный рост прочности наблюдался при начальном добавлении: 2 % – 6,6 МПа; 5 % – 7,45 МПа. Это позволило рекомендовать добавлять в базовый состав не более 3 % цемента, так как по ряду причин необходимо было ограничить содержание минерального вяжущего минимально возможными расходами. В следующих сериях опытов принят зафиксированный расход цемента 2,5 %.

Брикеты на минеральном вяжущем разрушались ломко (трещиновато), по бетонному принципу разрушения. Выход мелочи при сбрасывании также высок (более 10 %) за счет ломкости краев и раскола брикетов при падении. Связность более высокая, чем у брикетов без связующего.

При добавлении органической связки (эмульсии без цемента) в исходную шихту брикеты получались более пластичными, легче извлекались из пресс-формы (с меньшем усилием выдавливания). Прочность на сжатие (рис. 2, *кривая 2*) имеет экстремум при малых расходах 2–4 %, в дальнейшем падает ниже первоначального значения. Брикеты становятся мягкими, пластичными и при сжатии сминаются (без развала). Прочность снижается менее 2,0–1,5 МПа. Брикеты с большим содержанием эмульсии (более 7 %) плохо подсыхают при естественной влажности и температуре воздуха рабочего помещения за 2 сут. Прочность брикетов из шихты с органическим эмульсионным связующим на уровне более 5,0 МПа зафиксирована при расходах более 2,0–4,0 % (массовая доля). При этом количество органической связки в брикете составляло примерно 1,25–2,5 % (массовая доля). Однако «зеленая» прочность эмульсионных брикетов существенно выше в сравнении с брикетами на минеральном вяжущем.

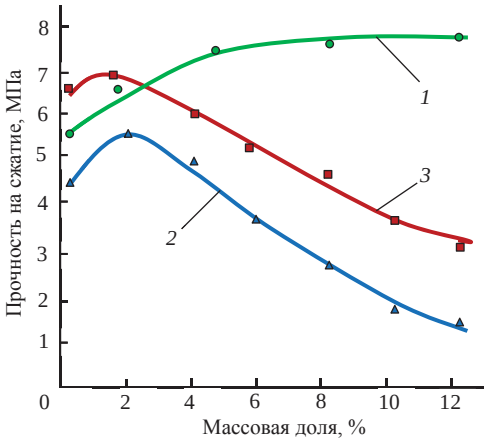

Рис. 2. Зависимость прочности при одноосном сжатии брикетированных образцов пылей с различными связующими от их расхода:
1 – минеральное вяжущее (цемент и бентонит); *2* – органическое вяжущее (профилактическая эмульсия); *3* – комплексное вяжущее

Fig. 2. The dependence between the strength at linear compression of briquetted samples of dust with various binders and their consumption:
1 – mineral binder (cement and bentonite); *2* – organic binder (prevention emulsion); *3* – complex binder

В третьей серии опытов в шихту с зафиксированным содержанием минерального вяжущего (цемента) в количестве 2,5 % (массовая доля) добавляли органическое эмульсионное связующее до 12 %. Также зафиксирован экстремум, повышающий прочность брикета при небольших расходах органического связующего (до 3,5 %), затем прочность на сжатие монотонно падает до 3,1 МПа и обеспечивается, по-видимому, комплексной связкой (цемент–эмульсия), а также Ван-дер-Ваальсовскими силами притяжения частиц шихты в тонких пленках вяжущих материалов. В данном случае приемлемым по прочности на сжатие и хрупкость (по прочности на сбрасывание) можно отметить интервал расходов органического эмульсионного связующего 2–6 % (массовая доля) для данного типа шихты и принятого расхода минерального вяжущего.

Расход минеральной и органической (эмульсионной) связки должен находиться в пределах:

– минеральное вяжущее (цемент) 2–3 % (не более 5 %); средний проектный расход на опытные испытания может быть задан в количестве 3 % (массовая доля);

– органическое связующее (эмульсия на основе АПД, 55–60 %-ная по органическому материалу) – 3–7 % (массовая доля); средний расход, обеспечивающий прочностные свойства брикетов и пластичность массы, может быть принят в количестве 5 % (массовая доля); температура размягчения исходного АПД должна составлять не менее 42 °С по КиШ.

Физические свойства эмульсионных профилактических средств из тяжелых нефтяных остатков

Physical properties of emulsion preventive substances made of black oils

Эмульсионное связующее	pH раствора	Вязкость при 20 °С по вискозиметру ВУ, град	Условная вязкость при 20 °С, с	Однородность по остатку на сите № 014, %	Устойчивость при хранении*, % (массовая доля)
АПД	2,34	6	11,2	0,3	0,4
КО	2,29	8	12,0	0,5	0,7
БНД 90/130	2,29	11	11,9	0,9	1,2

* Определяется по остатку на сите № 014 после хранения в течение 30 сут.

Проектная прочность брикетов на минеральном вяжущем достигается в установленные разработчиками временные сроки, однако, как видно из графиков рис. 2, проектная прочность брикетов на органическом вяжущем достигается быстрее. Все представленные рецептуры обладают достаточной прочностью – до 5 МПа, что указывает на возможность опытно-промышленного внедрения данных рецептур. При оптимальных соотношениях прочность на комплексном связующем достигается до заданных 5 МПа. Соотношение (Ш + 2 % Ц + 7 % Э), где Ш – шихта; Ц – цемент; Э – эмульсия, можно считать оптимальным для проектирования. Для повышения прочности на сжатие можно также добавлять жидкое стекло (СВ) в количестве 3 %.

В лабораторных условиях были приготовлены обеспыливающие эмульсионные составы на основе ТНО, АПД, КО и проведен их сопоставительный анализ с дорожными битумными эмульсиями (ГОСТ 52128). В результате экспериментов получены эмульсии для длительного хранения (более 30 сут) и холодного нанесения на поверхность обрабатываемого покрытия самотеком до +5 °С. Результаты сопоставительного анализа катионных прямых концентрированных эмульсий первого рода (концентрация связующего 60 %) представлены в таблице.

В результате лабораторных исследований эмульсионных профилактических средств установлено, что, в отличие от битумов, эмульсии на основе АПД обладают большей однородностью и устойчивостью при транспортировании и хранении, определяемыми по остатку на сите диаметром 0,014 мм.

Вязкость эмульсионных пылесвязующих несущественно отличается от битумных эмульсий, поскольку они приготовлены на оборудовании, предусмотренном для диспергирования битумов, однако вполне достаточна для нанесения эмульсии самотеком – в пределах 9–15 с истечения 50 мл эмульсии при 20 °С.

На начальном этапе смачивания, непосредственно после мероприятий по обеспыливанию прямой ионной эмульсией первого рода, дисперсионная среда (водный раствор ионогенного эмульгатора и ПАВ) смачивает частицы пыли и за счет работы эмульгатора позволяет добиться равномерного распределения пы-

лесвязующего на геометрической поверхности, в поровой структуре и в капиллярных порах субстрата.

Происходит распад эмульсии с выделением связующего на поверхности частиц пыли. Начинается второй этап смачивания и склеивания частиц пыли за счет оптимального химического состава связующего с равным соотношением полициклических ароматических углеводородов и суммы смол и асфальтенов.

Степень закупоривания пор и пустот пылеватых частиц в ходе эксперимента определялась по водонасыщению при смачивании пылесвязующими с различным расходом. Сущность метода заключается в определении приращения массы брикетов из смеси пылей со связующими после насыщения их водой в условиях вакуума.

В связи с тем что кристаллогидратные связующие, а также водорастворимые соли (в том числе, лигносульфонаты) изменяют свои свойства от воздействия воды, в эксперименте по определению водонасыщения они не использовались. Важным свойством образующихся на поверхности пылеватых частиц пленок связующего является их атмосферная стойкость, в том числе стойкость к атмосферным осадкам.

В ходе эксперимента образцы – брикеты пылеватых частиц со связующими, приготовленные по методу определения прочности при одноосном сжатии, – взвешиваются на воздухе. Образцы помещают в сосуд с водой температурой 20±2 °С. Уровень воды над образцами должен быть не менее 3 см.

Сосуд с образцами устанавливают под стеклянный колпак вакуум-прибора, где создают и поддерживают остаточное давление, равное 2000 Па (15 мм рт. ст.), в течение 30 мин, затем давление доводят до атмосферного и образцы выдерживают в том же сосуде с водой при температуре 20±2 °С. После этого образцы извлекают из воды, вытирают мягкой тканью или фильтровальной бумагой и взвешивают с погрешностью 0,01 г на воздухе и в воде. Увеличение массы образца соответствует количеству поглощенной образцом воды.

На рис. 3 представлена зависимость водонасыщения образцов – брикетов из смеси пылей – от расхода связующих веществ.

Объемная доля, %, водонасыщения образцов – брикетов пылей со связующим – определяется по формуле:

$$W = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_2} \cdot 100, \qquad (1)$$

где m_0 – масса не насыщенного водой образца, г; m_1 – масса образца, выдержанного в течение 30 мин в воде и взвешенного на воздухе, г; m_2 – масса того же образца, взвешенного в воде, г; m_3 – масса того же образца, взвешенного на воздухе, г.

При применении в качестве связующих веществ органических вяжущих, например тяжелых нефтяных остатков или битумов, за счет образования водонерастворимых пленок связующего между пылеватыми частицами, а также в поровой структуре материалов, составляющих поверхность автодорог, водонасыщение слоя уменьшается. Это способствует более высокой атмосферной стойкости покрытия. Степень водонасыщения поверхностного слоя напрямую зависит от расхода органического пылесвязующего, за счет чего можно регулировать его дренажные свойства. Показано, что наилучшего гидрофобизирующего действия, определенного по степени водонасыщения, можно достичь за счет применения эмульсионного пылесвязующего, приготовленного из АПД.

Технология обеспыливания эмульсионными профилактическими средствами из ТНО отличается от распространенных методов обеспыливания следующими показателями:

– долговременный эффект;

– улучшенные депрессорные свойства покрытия (более низкая температура хрупкости – ниже минус 25 °С);

– отсутствие пожарной опасности;

– высокие эксплуатационные свойства пленочного покрытия (эластичность, прочность, сопротивление воздействию ультрафиолетовых лучей);

– возможность обеспыливания обрабатываемого материала более высокой начальной влажности (9 % и более);

– нанесение методом орошения без использования сложного форсуночного оборудования.

К недостаткам можно отнести:

– глинистые и переувлажненные материалы не подходят для данного вида обработки;

– модуль упругости укрепленных материалов остается без изменения и обеспечивается только принятой конструкцией автодороги.

Допускается применять небольшое количество воды для увлажнения грунта и разжижения эмульсии, что позволит легче ее распределять и перемешивать с поверхностными слоями на автодороге. Недопустимо вводить эмульсию, в том числе разжиженную, в сухой материал ввиду опасности преждевременного распада (сворачивания) битумной эмульсии на активной поверхности сухого грунта.

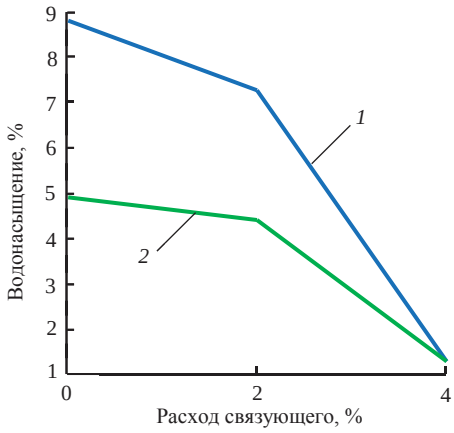

Рис. 3. Зависимость водонасыщения золы-уноса для дорожных эмульсий ЭБК-2 и эмульсий АПД от расхода эмульсионного связующего:

1 – битумная эмульсия ЭБК-2; *2* – эмульсия АПД

Fig. 3. Dependence between the consumption of emulsion binder and water saturated fly ash for road emulsions EBK-2 and APD emulsions:

1 – bitumen emulsion EBK-2; *2* – APD emulsion

Выводы. *Разработан* эффективный экспресс-метод оценки прочностных свойств грунтов и техногенных материалов, укрепленных органическими и неорганическими вяжущими, основанный на прочности изготавливаемых брикетов из грунтов, пылей, шламов и других техногенных материалов с эмульгированным нефтяным связующим.

Предложен способ укрепления грунтов техногенных массивов и пылящих поверхностей, в том числе эксплуатируемых карьерных автодорог, с помощью эмульгированных тяжелых нефтяных остатков.

Получены новые экспериментальные зависимости прочности брикетов из укрепленных грунтов с эмульгированными тяжелыми нефтяными остатками, позволяющие оптимизировать состав минеральной части (цемента) и органического связующего материала, а также их соотношение для практического применения при обеспыливании карьерных автодорог и техногенных массивов.

Разработаны технические условия на профилактические средства из тяжелых нефтяных остатков для обеспыливания карьерных дорог и техногенных массивов, применяемые в исходном и эмульгированном виде:

Профилактическое связующее ПС-1. Асфальт. Технические условия. СТО 47678749-001-2015. Екатеринбург: НИЦ «Асфальтит», 2015;

Профилактическая эмульсия ПЭ. Технические условия. СТО 47678749-002-2016. Екатеринбург: НИЦ «Асфальтит», 2016.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Укрепленные грунты / В. М. Безрук [и др.]. М.: Транспорт, 1982. 231 с.
2. Багазеев В. К., Валиев Н. Г., Кокарев К. В. Основы подземной геотехнологии. Екатеринбург: УГГУ, 2015. 198 с.
3. Неволин Д. Г., Кошкаров Вл. Е., Кошкаров В. Е. Технология обеспыливания автодорог на основе битумно-полимерных материалов. Екатеринбург: УрГУПС, 2015. 135 с.
4. Борьба с пылеобразованием на карьерных автодорогах нефтяными вяжущими / А. П. Зиновьев [и др.]. Уфа: Башк. кн. изд-во, 1990. 95 с.
5. Валиев Н. Г. Разработка технологии закрепления пылящих поверхностей отвальных угольных разрезов: дис. … канд. техн. наук. Екатеринбург, 1994. 165 с.
6. Равич Б. М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. М.: Металлургия, 1975. 232 с.
7. Алферов В. И. Дорожные материалы на основе битумных эмульсий. Воронеж: ВГАСУ, 2003. 152 с.
8. Валиев Н. Г. Исследование закрепления пылящей поверхности отвала эмульсией госсиполовой смолы // Известия вузов. Горный журнал. 1994. № 1. С. 38–40.
9. Кошкаров Вл. Е., Валиев Н. Г. Опыт и перспективы применения битумных эмульсий при строительстве и эксплуатации карьерных дорог // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 5. С. 13–20.
10. Валиев Н. Г., Симисинов Д. И., Кошкаров В. Е., Ахметов А. Ф. Эмульсионные профилактические средства из тяжелых нефтяных остатков для обеспыливания карьерных автомобильных дорог и отвалов техногенных отходов // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 8. С. 13–21.
11. Кошкаров В. Е., Петленко С. В., Кошкаров Вл. Е. Проблема обеспыливания грунтовых автомобильных дорог и оценка применения углеводородных эмульсий при их эксплуатации // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: сб. науч. трудов ГИПРОДОРНИИ. 2012. Вып. 3 (62). С. 105–113.
12. Кошкаров В. Е., Ахметов А. Ф., Еремин А. Я. Разработка технологии профилактики пылеобразования карьерных автодорог и хвостохранилищ углеводородными эмульсиями // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: матер. 72-й Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 80-летию МГТУ им. Г. И. Носова. Магнитогорск: МГТУ, 2014. 95 с.
13. A sustainable future in management of dust emission from coal terminals in hay point queensland // Coal Dust Management. Mine to Port. 2012.
14. Dust control handbook for industrial minerals mining and processing // Report of Investigations. 2012.
15. Dust control handbook by V. Mody, R. Jakhete. 1989.

Поступила в редакцию 9 ноября 2018 года

Сведения об авторах:

Кошкаров Василий Евгеньевич – аспирант кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: sntp_nauka@list.ru
Неволин Дмитрий Германович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования и эксплуатации автомобилей Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: innotrans@mail.ru
Кошкаров Евгений Васильевич – доктор экономических наук, директор по науке ООО «Научно-исследовательский центр «Асфальтит». E-mail: nauka.61@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-1-33-41

Strength characteristics evaluation of soils strengthened by emulsion binders when dedusting opencast automobile roads

Vasilii E. Koshkarov[1], Dmitrii G. Nevolin[2], Evgenii V. Koshkarov[3]
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.
[2] Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia.
[3] Asfaltit Research and Development Center, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Subject of research. *In geotechnology, there is a problem of rapid comparative evaluation of soil strength when purposefully changing its physical and technical properties. This problem is especially acute when using mineral and organic binders to strengthen and harden the soil or bind it for some reason, for example, when fixing slopes, dusting surfaces of technogenic dumps and tailings storages, and when dedusting opencast automobile roads.*

Research aim. *Experiments to find efficient technologies for opencast automobile roads and technogenic massifs dedusting are aimed at providing production with affordable and abundant components.*

Methodology. *The present work proposes and tests a simple method for determining the physical and engineering properties of soils, adhesion strength of dust particles and the volume fraction of water saturation, after their treatment with dust-binding substances. Rapid method is proposed to determine changes in physical and engineering properties of soil conditioned by the impact of dust binding substances; the schemes of molding tools and equipment for testing are proposed.*

Results. *Emulsion oil binders high efficiency at opencast automobile roads dedusting and technogenic massifs has been shown in comparison with water-soluble and crystalline hydrate binders.*
Results application area. *Dedusting technologies with organic oil binders, emulsions from heavy oil residues, ensure the safety of mining operations, subsoil and environmental protection.*

Key words: *opencast automobile roads; technogenic massif; dedusting; dust binders; lignosulfonate; cement; bitumen emulsions.*

REFERENCES

1. Bezruk V. M. et al. (ed.). *Strengthened soils*. Moscow: Transport Publishing; 1982. (In Russ.)
2. Bagazeev V. K., Valiev N. G., Kokarev K. V. *The fundamentals of underground geotechnology*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2015. (In Russ.)
3. Nevolin D. G., Koshkarov Vl. E., Koshkarov V. E. *The technology of roads dedusting based on bitumen-polymer materials*. Ekaterinburg: USURT Publishing; 2015. (In Russ.)
4. Zinoviev A. P. et al. (eds.) Dust protection at open pit roads with the help of oil binders. Ufa: Bashk. kn. izd-vo Publishing; 1990. (In Russ.)
5. Valiev N. G. *Developing the technology of dump opencast coal mines dusting surfaces strengthening. Diss. Cand. Eng. Sci*. Ekaterinburg; 1994. (In Russ.)
6. Ravich B. M. *Briquetting in non-ferrous and ferrous metallurgy*. Moscow: Metallurgiia Publishing; 1975. (In Russ.)
7. Alferov V. I. *Road construction materials based on bitumen emulsions*. Voronezh: VGASU Publishing; 2003. (In Russ.)
8. Valiev N. G. Investigation of dump dusting surface strengthening with the emulsion of gossypol resin. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 1994; 1: 38–40. (In Russ.)
9. Koshkarov Vl. E., Valiev N. G. Experience and prospects of usage of bitumen emulsions in the construction and operation of mining roads. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2011; 5: 13–20. (In Russ.)
10. Valiev N. G., Simisinov D. I., Koshkarov V. E., Akhmetov A. F. Emulsion preventives from black oil for dust removal at opencast automobile roads and technogenic wastes. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2015; 8: 13–21. (In Russ.)
11. Koshkarov V. E., Petlenko S. V., Koshkarov Vl. E. The problem of dust removal at unsurfaced roads and the estimation of hydrocarbon emulsions application during their operation. *Pressing issues of automobile roads design: Proceedings of GIPRODORNII*. 2012; 3 (62): 105–113. (In Russ.)
12. Koshkarov V. E., Akhmetov A. F., Eremin A. Ia. Developing the technology preventing dust formation at opencast automobile roads and tailings storages with the help of hydrocarbon emulsions. In: *Current issues of modern science, technology, and education: Proceedings of 72nd International Science and Technology Conference Dedicated to the 80th Anniversary of Nosov MSTU*. Magnitogorsk: MSTU Publishing; 2014. 95 p. (In Russ.)
13. A sustainable future in management of dust emission from coal terminals in hay point queensland. *Coal Dust Management. Mine to Port*. 2012.
14. Dust control handbook for industrial minerals mining and processing. *Report of Investigations*. 2012.
15. Mody V., Jakhete R. *Dust control handbook*. 1989.

Received 9th November, 2018

Information about authors:

Vasilii E. Koshkarov – PhD student of the Department of Open Cut Mining, Ural State Mining University. E-mail: sntp_nauka@list.ru
Dmitrii G. Nevolin – Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Design and Exploitation of Automobiles, Ural State University of Railway Transport. E-mail: innotrans@mail.ru
Evgenii V. Koshkarov – Doctor of Economic Science, scientific director of Asfaltit Research and Development Center. E-mail: nauka.61@mail.ru

Для цитирования: Кошкаров В. Е., Неволин Д. Г., Кошкаров Е. В. Оценка прочностных свойств грунтов, укрепленных эмульсионными связующими при обеспыливании карьерных автодорог // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 1. С. 33–41.
For citation: Koshkarov V. E., Nevolin D. G., Koshkarov E. V. Strength characteristics evaluation of soils strengthened by emulsion binders when dedusting opencast automobile roads. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 1: 33–41.