

УДК 625.75

**П. А. Лыщик**, кандидат технических наук, профессор (БГТУ);  
**А. И. Науменко**, магистрант (БГТУ)

### УКРЕПЛЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ГРУНТОВ ШЛАКОВЫМИ ДОБАВКАМИ

В настоящее время при строительстве автомобильных дорог общего пользования применяются конструкции дорожных одежд из укрепленных материалов, что позволяет увеличить сроки их службы и обеспечить повышение транспортно-эксплуатационных показателей.

Now at building of highways of the general using designs of road clothes from the strengthened materials that allows to increase terms of their service are applied and to provide increase of transportno-operational indicators. At designing of road clothes of wood roads it is necessary to consider specificity of their work taking into account increase in weight of lorry convoys and experience of improvement of properties road soils.

**Введение.** Одним из направлений увеличения прочности дорожных одежд следует считать улучшение свойств исходных дорожно-строительных материалов. Это возможно осуществлять на основе использования отходов промышленных производств. В Республике Беларусь имеются предприятия черной металлургии, на которых при производстве металла в больших количествах образуются отходы – это шлаки различных свойств и состава. При выплавке разных марок стали на Белорусском металлургическом заводе (БМЗ) образуются следующие виды шлаков: верхний, гранулированный, длинный, доменный, карбидный, конвертерный, короткий. Шлак, как правило, является побочной продукцией, используемой в качестве вторичного сырья для получения строительных материалов (например шлако-ситаллов), известковых и фосфорных удобрений, а также является оборотным продуктом в ряде металлургических процессов.

Из сталеплавильного шлака изготавливают щебень для дорожного строительства. Кроме того, его используют в агломерных и ваграночных производствах для извлечения содержащихся в них Fe, Mn и CaO.

**Основные положения.** Металлургические шлаки и продукты их переработки используются в дорожном и гидротехническом строительстве, производстве строительных материалов, в том числе облицовочных плит, сельском хозяйстве, химической промышленности, медицине и других отраслях промышленности.

Шлаки – побочные продукты, получаемые при плавке черных и цветных металлов, сжигании твердых видов топлива, а также при электротермической возгонке фосфора.

Шлак представляет собой сплав оксидов переменного состава. Главными компонентами шлака являются: кислотный оксид  $\text{SiO}_2$  и основные оксиды CaO, FeO, MgO, а также нейтральные оксиды  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и (реже) ZnO. В зави-

симости от преобладания тех или иных оксидов шлак может быть кислым и основным.

Свойства доменных шлаков исследованы достаточно полно, они широко используются в строительстве, в том числе и автомобильных дорог. Однако большая группа предприятий, таких как БМЗ, при производстве основной продукции образуют электросталеплавильные шлаки, свойства которых резко отличаются от свойств шлаков доменного производства. Электросталеплавильные негранулированные саморассыпающиеся шлаки в связи со слабой изученностью не находят широкого применения в дорожном строительстве, поэтому на этих предприятиях скопились огромные их запасы.

Металлургические шлаки – эффективные заменители природных каменных материалов, они рекомендуются для строительства и ремонта автомобильных дорог. По свойствам щебень из шлака не уступает продукту, полученному из твердых пород, а иногда и превосходит его.

С учетом физико-механических свойств щебень, песок и их смеси применяют для устройства конструктивных слоев дороги всех видов – покрытий, оснований, дополнительных слоев оснований и т. д. [2, 3].

Порошкообразные сталеплавильные и доменные шлаки являются низкомарочными вяжущими и предназначены для создания монолитных оснований дорог, прочность которых значительно повышаются при небольших добавках цемента и извести в качестве активизатора (до 10% по массе).

Достаточно прочные основания автомобильных дорог получают из смеси щебня из активного шлака и слабых известняков. Щебень из мартеновских шлаков с успехом используют для заклинки дорожного основания, изготовленного из гранитного щебня. Особенности асфальтобетонных покрытий, полученных с применением сталеплавильных шлаков – отсутствие деформаций сдвига даже при

интенсивном движении тяжелого транспорта. Шлаковый щебень содержит некоторое количество мелочи, которое значительно возрастает при укатке во время сооружения дорожного полотна.

Особенность асфальтобетонных покрытий, полученных с применением сталеплавильных шлаков, – отсутствие деформаций сдвига даже при интенсивном движении тяжелого транспорта.

При хранении отходов происходят процессы, изменяющие свойства исходной отвальной массы, химический, минеральный и гранулометрический составы, прочность, плотность и др.

Металлургические шлаки и продукты их переработки используются в металлургии, строительстве дорожного, гидротехнического, производстве строительных материалов, в том числе облицовочных плит и тубингов при строительстве метро, сельском хозяйстве, кораблестроении, коммунальном и газовом хозяйстве, атомной энергетике, химической промышленности, медицине и других отраслях промышленности. С учетом сегодняшних цен на каменные строительные материалы, которые на большей территории Республики Беларусь распространены незначительно либо вообще отсутствуют, необходимо решать вопрос эффективной замены дорогостоящих каменных строительных материалов на отходы промышленного производства. В данном случае предлагается замена гравийных и щебеночных материалов на шлак БМЗ.

Для более полного обоснования целесообразности улучшения свойств гравийных материалов проводятся исследования по определению прочностных характеристик смеси с различным процентным содержанием шлака.

Гранулометрический состав шлака и песчано-гравийной смеси определяется ситовым методом [1, 2, 3]. Испытуемый шлак предварительно был измельчен в лабораторных усло-

виях в специальном барабане. Так как выделенные частицы обладают размерами 0,14–20 мм, то анализ ведется без промывки водой [4, 5].

Наиболее важными показателями прочности дорожной одежды является модуль упругости. Для определения модуля упругости необходимо учитывать такие параметры, как максимальная плотность и оптимальная влажность смеси.

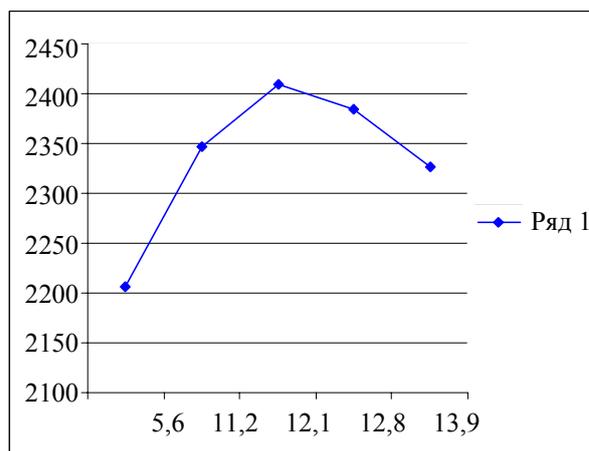


Рис. 1. График зависимости  $\gamma_{ск} = f(W)$

Из полученного графика: оптимальная влажность  $W_{оп} = 12,1$  %; максимальная плотность грунта  $\gamma_{max} = 2409$  кг/м<sup>3</sup>. С использованием полученных данных проведен расчет дорожной одежды по методу упругого прогиба при помощи компьютерной программы «Радон» [6].

Максимальную плотность и оптимальную влажность грунта устанавливают по графику зависимости плотности от влажности (рис. 1), построенному по экспериментальным данным, приведенным в таблице.

На рис. 2 приведен расчет дорожной конструкции, анализ которой позволяет сделать вывод о целесообразности замены гравийных и щебеночных материалов на песчано-гравийную смесь с 25%-ным содержанием шлака БМЗ.

#### Результаты исследований

Показатели	Определения				
	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е
Масса пустого цилиндра $P_2$ , кг	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05
Масса цилиндра с уплотненным грунтом $P_1$ , кг	7,38	7,66	7,70	7,75	7,74
Объем цилиндра $V$ , м <sup>3</sup>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Объемная масса влажного грунта $\gamma_0$ , кг/ м <sup>3</sup>	2330	2610	2700	2690	2700
Влажность грунта $W$ , %	5,6	11,2	12,1	12,8	13,9
Масса бюксы $q_6$ , г	14,40	14,35	13,39	14,40	13,39
Масса бюксы с влажным грунтом $q_{в}$ , г	24,52	28,45	28,21	27,34	28,69
Масса бюксы с сухим грунтом $q_с$ , г	23,98	27,03	27,42	25,94	26,82
Объемная масса скелета грунта $\gamma_{ск}$ , кг/ м <sup>3</sup>	2206	2347	2409	2385	2327

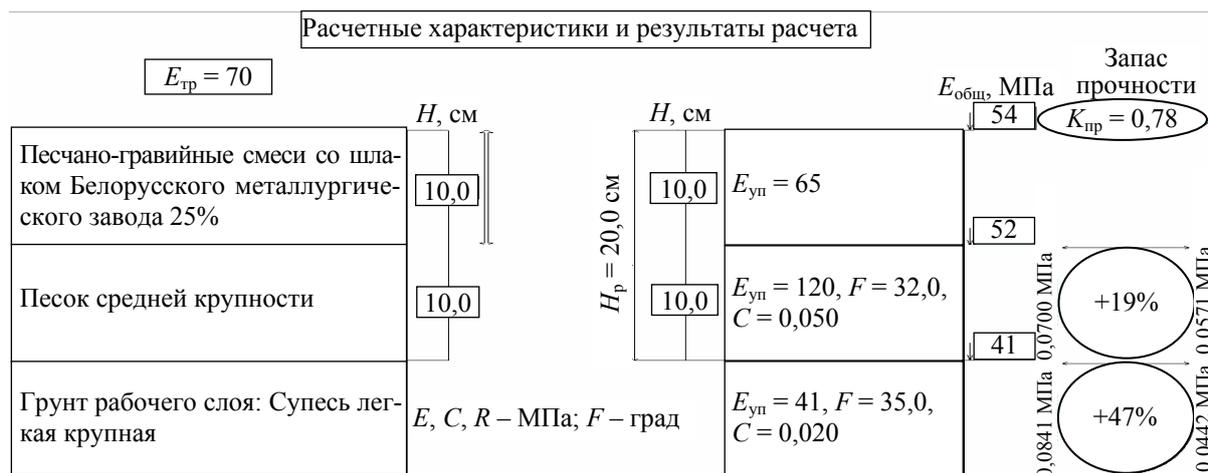


Рис. 2. Расчетные характеристики и результаты расчета дорожной одежды на основе использования шлаков Белорусского металлургического завода

**Выводы.** Для дорожно-строительных целей шлак пригоден преимущественно второго слива, кристаллической структуры, не содержащей заметного количества зерен пережога извести. Кристаллически плотный мартеновский шлак обладает прочностью более 100 МПа, малой водопоглощаемостью, морозостойкий. Физико-механические свойства шлака характеризуются объемной массой 3100–3300 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощением 0,5–2%; морозоустойчивостью свыше 100, прочностью при сжатии 80–120 МПа. Смесь прочного щебня со шлаковой мукой используется для устройства оснований дорожных одежд по типу шлакобетона.

Насыпная плотность гранулированного шлака колеблется в широких пределах – 600–1200 кг/м<sup>3</sup>. Это связано с тем, что в зависимости от свойств шлакового расплава и технологии грануляции зерна шлака могут получаться плотными или пористыми. Пустотность гранулированных шлаков велика – до 60...70%.

Гранулированные доменные шлаки потребляются главным образом в производстве шлакопорландцемента, но в значительном объеме они используются также в качестве заполнителя для бетонов.

При сравнении двух вариантов дорожных одежд на основе использования металлургического шлака и песчано-гравийной смеси видно, что конструкция с применением шлаков не уступает песчано-гравийному покрытию по прочностным характеристикам, а с экономической точки зрения является наиболее выгодной и целесообразной, так как стоимость шлака значительно меньше, чем стоимость гравия. Расход материала также будет меньше за счет толщины верхнего слоя (рис. 2).

В настоящее время разработаны составы новых вяжущих материалов на основе Белорусского металлургического завода. Шлаки должны все шире использоваться взамен природного песка и гравия. Для упрочнения грунта достаточно слоя

шлака 20–30 см, для дороги длиной 1 км и шириной проезжей части 3,5 м требуется 600–900 т шлака (в зависимости от толщины засыпки). При применении шлаков в качестве оснований дорожных покрытий можно подобрать оптимальный гранулометрический состав, который обеспечит повышение прочности на 7% и экономию в применяемых материалах порядка 10–12%.

Кроме того, по результатам испытаний образцов следует отметить быстрый набор прочности укрепляемого материала. Так, на седьмые сутки затворения водой прочность составила 70%. Данный показатель особенно важен при строительстве лесных дорог, поскольку позволяет сократить время между началом и окончанием дорожно-строительных работ и вводом в эксплуатацию новых дорожных конструкций.

### Литература

1. Материалы и изделия для строительства дорог: справочник / Н. В. Горельшев [и др.]. – М.: Транспорт, 1986. – 288 с.
2. Прокопец, В. С. Производство и применение дорожно-строительных материалов на основе сырья, модифицированного механической активацией / В. С. Прокопец, В. С. Лесовик. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2005. – 264 с.
3. Бабаскин, Ю. Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна дорог / Ю. Г. Бабаскин. – Минск: БГПА, 2001. – 223 с.
4. Вырко, Н. П. Практикум по дорожному грунтоведению / Н. П. Вырко, И. И. Леонович. – Минск: Выш. шк., 1980. – 255 с.
5. Казарновский, В. Д. Основы инженерной геологии, дорожного грунтоведения и механики грунтов / В. Д. Казарновский. – М., 2007. – 284 с.
6. РАДОН 2.2. Расчет дорожных одежд. Руководство пользователя. – Минск.: ООО СП «Кредо Диалог», 2006. – 125 с.

Поступила 14.03.2012