

К.Г. Пугин, В.С. Юшков

Пермский государственный технический университет

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются техногенные отходы промышленности, возможное их применение для дорожного строительства. Представлен химический и зерновой состав золошлаковых материалов. Сделан вывод, где наиболее рационально использовать отходы.

Ключевые слова: техногенные отходы, дорожное строительство, золошлаки, автодорога.

В настоящее время комплексное использование техногенных отходов промышленных комплексов приобретает особое значение в связи с ростом экологических проблем и снижением уровня содержания целевых компонентов в исходном сырье. Задача комплексного использования сырья для дорожной отрасли – рациональное использование природных материалов и вовлечение в технологический процесс техногенных отходов [1]. Видов техногенных отходов большое количество. Они различаются по гранулометрическому, химическому составу и степени опасности (рис. 1).

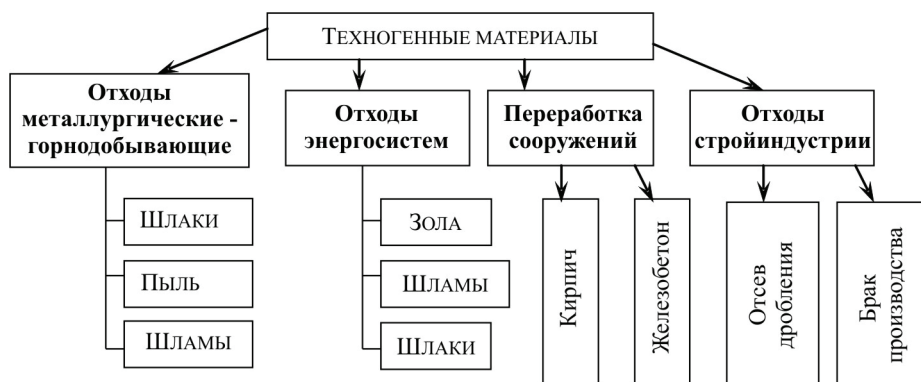


Рис. 1. Структура техногенных материалов

Отечественный и зарубежный опыт использования техногенных материалов освещает вопросы их применения при дорожном строи-

тельстве (рис. 2). Так, золы сухого улавливания и золошлаковые материалы можно использовать при укреплении грунтов различного состава, как в виде самостоятельного вяжущего материала, так и в составе комплексного вяжущего (в сочетании с органическими и неорганическими вяжущими, смолами), а также применение этих материалов в асфальто- и цементобетонах.



Рис. 2. Применение техногенных материалов

Потребление материальных ресурсов при строительстве автомобильных дорог чрезвычайно велико. На возведение 1 км автомобильной дороги в зависимости от ее категории и местных условий требуется:

- ◆ для сооружения земляного полотна 6–60 тыс. м³ грунта;
- ◆ для создания дренирующих и морозозащитных слоев 1,6–6 тыс. м³ песка;
- ◆ для строительства дорожного основания 0,8–5,4 тыс. м³ щебня или грунта, укрепленного вяжущими материалами;
- ◆ для строительства дорожных покрытий 1,1–4,7 тыс. т асфальтобетона (что требует 55–235 т битума) или 1,2–4,8 тыс. м³ цементобетона (480–1700 т цемента).

Уменьшение потребности в дорожно-строительных материалах и повышение эффективности их использования остается важнейшей проблемой. Многолетние научные исследования и практика дорожного строительства показали, что одним из путей ее решения является применение техногенных материалов – отходов промышленности, которые можно использовать или в качестве непосредственно дорожно-строи-

тельного материала, или как исходный продукт для его получения. К таким отходам относятся золы и шлаки – продукты сжигания на тепловых электростанциях (ТЭС) твердого топлива: угля, торфа, сланцев и других горючих материалов. При этом следует различать:

а) золу уноса сухого улавливания (когда зола, поступающая с электрофильтров и из циклонов ТЭС в золоборники, направляется специальным пневмотранспортом в силосные склады либо непосредственно в транспортные средства потребителей);

б) золошлаковую смесь гидроудаления (когда при очистке золоборников с помощью воды зола и шлак в виде золопульпы удаляется в отвалы).

В России около 70 % всей электроэнергии вырабатывается при сжигании твердого топлива – углей, сланцев, торфа, в результате чего образуется около 50 млн т в год отвалов золошлаковых смесей. К концу 2009 г. в отвалах ТЭС находилось свыше 1,2 млрд т таких отходов. В Пермском крае накопление отходов техногенных материалов составляет более 500 млн т, из них золошлаковые отходы энергосистем составляют 19586,8 тыс. т (на 2002 г.). В дорожном строительстве золы и золошлаковые смеси используются при сооружении земляного полотна, для устройства укрепленных оснований, в качестве заполнителя и минерального порошка в асфальтобетонах. Золы сухого улавливания можно применять в качестве самостоятельного вяжущего, а также как активную добавку к неорганическим и органическим вяжущим веществам.

Строительство автомобильных дорог с применением зол и золошлаковых материалов осуществлялось в различных регионах России, особенно в районах, испытывающих дефицит традиционных дорожно-строительных материалов (щебня, песка, цемента). При строительстве автомобильных дорог Москва–Серпухов, Москва–Рига, Москва–Кашира с применением зол и золошлаковых смесей построено около 300 км дорог. На автомобильной дороге Алтай–Кузбасс на отсыпке слоев земляного полотна использовано 65 тыс. м³ золошлаковых материалов. «Алтайавтодор» в 1999–2005 гг. применял золы уноса Барнаульской ТЭЦ в конструктивных слоях дорожных одежд на автомобильных дорогах III–IV категорий.

В зависимости от вида топлива зола подразделяется на несколько видов (рис. 3). Содержание золы при сгорании топлива различно: в каменных и бурых углях – от 1 до 45 %, в горючих сланцах – от 50 до 80 %, в топливном торфе – от 2 до 30 %.

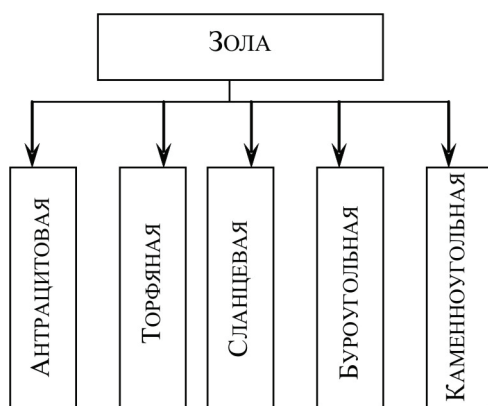


Рис. 3. Виды зол в зависимости от топлива

По способу удаления различают: золу сухого отбора (зола уноса) и мокрого (зола гидроудаления). Зола уноса получается в результате очистки дымовых газов золоуловителями и представляет собой тонкодисперсный материал с очень мелкими частицами, что позволяет использовать ее без дополнительного помола. Зола мокрого отбора образуется при удалении ее с помощью воды в виде пульпы по золопроводам.

Химический и минерально-фазовый составы, строение и свойства золошлаковых материалов (ЗШМ) зависят от состава минеральной части топлива, его теплотворной способности, режима сжигания, способа их улавливания и удаления, места отбора из отвалов.

При высоких температурах (1200–1600 °С) сжигания топлива минеральные примеси претерпевают изменения; в них протекают сложные физико-химические процессы: выделяется химически связанная вода силикатов и алюмосиликатов; разлагаются карбонаты; идут реакции в твердой фазе; происходят плавление, кристаллизация, силикатообразование, стеклообразование и др. Поэтому золы и шлаки ТЭЦ имеют сложный химический и минералогический составы.

Химический состав ЗШМ от сжигания углей в России и некоторых зарубежных странах представлены в основном SiO_2 и Al_2O_3 . Кроме того, в состав оксидов входят также Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , SO_3 и др.

В настоящее время ГОСТ 25818–91 и ГОСТ 25592–91 определили требования к химическому составу ЗШМ, применяемому для производства различных видов бетонов и строительных растворов. Нормируется содержание оксидов – CaO , MgO , SO_3 , Na_2O и K_2O : оксида кальция CaO – 10 %, чтобы обеспечить равномерность изменения объема при

твердении, свободного CaO – 5 %; оксида магния MgO – не более 5 %; верхний предел сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃ по требованиям сульфатостойкости – 3–6 % (в зависимости от вида исходного топлива); суммарное содержание щелочных оксидов Na₂O и K₂O – 1,5–3 % (в зависимости от вида сжигаемого топлива) во избежание деформаций при их реакции с заполнителями.

В зависимости от вида топлива и условий его сжигания в ЗШМ могут содержаться несгоревшие органические частицы топлива. Потеря массы при прокаливании (п.п.п.) должна быть не выше 3–25 % в зависимости от вида исходного топлива. Минерально-фазовый состав включает в себя неорганическую и органическую составляющие. Неорганическая фаза, в свою очередь, состоит из составляющих:

- ♦ аморфной, представленной стеклом и аморфизированным глинистым веществом;

- ♦ кристаллической, включающей в себя слабоизмененные зерна минералов исходного топлива (кварц, полевые шпаты и другие термически устойчивые минералы) и кристаллические новообразования, возникшие при сжигании топлива (муллит, гематит, алюмосиликат кальция и др.).

Шлаки по сравнению с золами содержат меньше органических остатков и аморфизированного глинистого вещества, но больше стеклофазы (до 95 %). Обусловлено это тем, что шлаки большее время находятся в высокотемпературной зоне топки. Кристаллическая фаза в них представлена кварцем, муллитом, магнетитом и т.д. Важнейшими физическими свойствами ЗШМ являются зерновой состав, насыпная и истинная плотности, водонасыщение и способность к морозному пучению.

Зерновой состав определяется видом топлива, его подготовкой к сжиганию, режимом сжигания, способом улавливания золы, местом отбора (таблица). При сухом удалении золы крупные частицы улавливаются циклонами, мелкие – электрофильтрами. При этом на каждом поле электрофильтра собирается определенная фракция золы. Так, на Прибалтийской ГРЭС зола из циклонов содержит частиц размером мельче 50 мкм 47–63 %, электрофильтровая зола со второго поля – 61–87 %, с третьего – 78–99 %, а четвертого – 100 %.

При этом происходит разделение и по химическому составу, и по фазовому. Максимальное содержание сферических стекловидных частиц имеют мельчайшие фракции золы. Чем зерна золы крупнее, тем выше в ней содержание агрегированных, шероховатых, пористых частиц [3].

Зерновой состав некоторых зол сухого улавливания [2]

Вид топлива	Содержание, %, зерен размером, мм						
	5–2	2–1	1–05	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–005	<0,05
Каменный уголь Экибастузского бассейна	–	–	–	0,5	95	340	560
Бурый уголь Харанорского месторождения	–	0,1	1,4	37,5	52,0	90	–
Каменный уголь Нерюн-гринского месторождения	0,3	0,6	28	3,5	37,0	29	52,9
Антрацитовый уголь До-нецкого бассейна	–	0,1	0,1	18,1	0,1	225	59 1

От зернового, химического и фазового составов золы зависит ее насыпная плотность, которая может составлять от 0,6 до 1,3 г/см³. Удельный вес (истинная плотность) золы колеблется от 1,75 до 3,5 г/см³, составляя в среднем 2,1–2,4 г/см³.

Химическая активность является важным свойством зол, от которого зависит их использование, в качестве самостоятельных вяжущих или как компонента комплексных вяжущих.

По химическому составу золы и шлаки подразделяются на основные, кислые и нейтральные. Основные золы содержат гидравлически активные компоненты и являются самостоятельным вяжущим. Кислые золы обладают свойствами типичных пуццоланов и могут применяться как активные минеральные добавки.

Основным критерием, определяющим способность золы и шлака проявлять вяжущие свойства, является наличие кальция в свободном или связанном виде. Наряду с этим используются следующие критерии:

♦ модуль основности (гидросиликатный модуль) M_o , который представляет собой отношение суммы основных оксидов к сумме кислотных оксидов:

$$M_o = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) : (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3);$$

♦ силикатный (кремнеземистый) модуль M_c , показывающий отношение оксида кремния, вступающего в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа:

$$M_c = \text{SiO}_2 : (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3);$$

♦ коэффициент качества K , показывающий отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность к оксидам, снижающим ее:

$$K = (\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) : (\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2).$$

На основании многочисленных исследований топливных отходов электростанций, сжигающих топливо различных месторождений, золошлаковые материалы разделены на группы – активные, малоактивные и инертные.

К активным относятся золошлаковые материалы (ЗШМ) поволжских сланцев, углей Канско-Ачинского угольного бассейна, ангренского угля, некоторых торфов. Общее содержание оксида кальция колеблется в пределах 20–60 %, свободного оксида кальция – до 30 %. Такой состав обеспечивает высокие значения модулей основности и силикатного, а также коэффициента качества. ЗШМ от сжигания указанных видов топлива обладают свойством самостоятельно твердеть и могут применяться как самостоятельные вяжущие.

К малоактивным относятся ЗШМ от сжигания райчихинских, богословских, харанорских, черемховских, хакасских и некоторых других углей. Общее содержание оксида кальция в этих ЗШМ составляет 5–20 %, содержание свободного оксида кальция – не выше 2 %. Модуль основности составляет не более 5. Как правило, они используются в качестве комплексных вяжущих с активизаторами.

К инертным относятся ЗШМ от сжигания экибастузских, подмосковных, кузнецких, донецких, нерюнгринских и других углей. Они характеризуются высоким содержанием оксидов кремния и алюминия и низким количеством оксидов кальция и магния. Свободного оксида кальция содержится менее 1 %, а в некоторых ЗШМ этой группы его может не быть совсем. В основном их используют в качестве техногенных грунтов.

При строительстве автомобильных дорог золы уноса сухого отбора используют в качестве активной гидравлической добавки совместно с цементом или известью, а также как самостоятельное медленно твердеющее вяжущее для устройства дорожных оснований и покрытий из укрепленных грунтов и отходов, получаемых при дроблении каменных материалов (рис. 4).

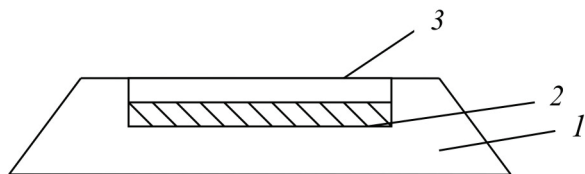


Рис. 4. Схема автомобильной дороги:
1 – земляное полотно; 2 – основание; 3 – покрытие

Золошлаковые смеси применяют в качестве материала для сооружения насыпей земляного полотна или малоактивной гидравлической добавки, в сочетании с цементом при укреплении грунтов на дорогах III–IV категорий (рис. 5).

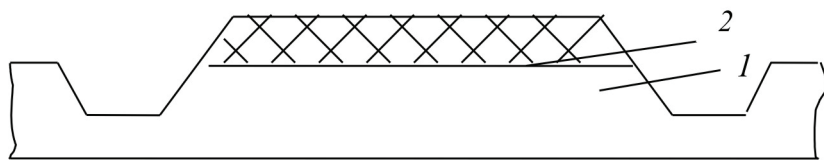


Рис. 5. Схема автомобильной дороги: 1 – земляное полотно; 2 – земляное полотно, укрепленное золошлаковой смесью

В нижних слоях оснований широко применяют смеси зол уноса с известью и гипсом, в верхних – дробленую гравийно-песчаную смесь, укрепленную золо-известковым вяжущим. Оптимальные результаты получены при соотношении извести и золы 1:4. Если установки для приготовления смесей размещены около отвалов зол уноса, то на территорию ТЭС завозят гравийно-песчаную смесь, известь и гипс, подводят водопровод; если они находятся на строительной площадке, то на нее завозят все материалы. Для приготовления смесей используют смесители с принудительным перемешиванием производительностью 300 т/ч. При укладке смесей особое внимание уделяют качеству уплотнения. Его осуществляют виброкатками, катками на пневматических шинах, пневмовиброкатками. На укрепленном слое основания устраивают защитный слой типа одиночной или двойной поверхностной обработки путем розлива 0,5–2 л/м² катионной битумной эмульсии и распределяют 0,5–6 л/м² песка или щебня фракции 10–20 мм. Укладка асфальтобетонного покрытия непосредственно на гравийно-песчаную смесь, содержащую известь и золу, не допускается.

Активные золы для укрепления песков, гравийно-песчаных и гравийно-щебеночных смесей применяют в качестве самостоятельного вяжущего в количестве 5–15 % (массы смеси).

Золу уноса использовали в жестком укатываемом бетоне для устройства дорожных одежд, а также для укрепления подстилающих слоев. Образцы бетона с добавкой 42 % (массы вяжущего) золы в возрасте 28 сут показали большую прочность, чем образцы обычного.

Уровень утилизации этих отходов в России составляет около 10 %, в то время как в ряде развитых стран – около 50 %, во Франции и в Германии – 70 %, а в Финляндии – около 90 % их текущего выхо-

да. В этих странах применяются в основном сухие золы, и на уровне государственной политики стимулируется их использование. Так, в Польше резко повышена цена на землю под золоотвалы, поэтому ТЭЦ доплачивают потребителям, для того чтобы снизить собственные затраты на их складирование. В Китае золы доставляются потребителям бесплатно, а в Болгарии сама зола бесплатна. В Великобритании действуют пять региональных центров по сбыту зол [4].

Список литературы

1. Пугин К.Г., Юшков В.С. Комплексная утилизация отходов предприятий черной металлургии в Пермском крае // Научно-технический прогресс в металлургии: тр. V междунар. науч.-практ. конф., г. Темиртау, 15–16 октября 2009 г. – Темиртау, 2009. – С. 571–575.

2. ГОСТ 25818–91. Золоуноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.

3. Данилович И.Ю., Сканава Н.А. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов. – М.: Высшая школа, 1988.

4. Малинина Л.А., Волков Ю.С., Рекитар Я.А. Экологические и технологические аспекты развития строительства и производства строительных материалов в мире // БИНТИ. – 2001. – № 5.

Получено 18.03.2011