

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ

3.5. Направления применения золошлаков энергетических углей

3.5.2. Дорожное строительство

3.5.2.2. Стандартизация продуктов сжигания, используемых при строительстве дорог в Польше

Т. Щигельски, Польский союз переработчиков продуктов сжигания угля (Polish CCP Union), Варшава, Польша

ВВЕДЕНИЕ

Использование золы, получаемой на угольных ТЭС, в дорожном строительстве началось в Польше в 50-ые годы вскоре после того, как эти ТЭС заработали на пылевидном угле. Первые промышленные (отраслевые) стандарты появились в 60-ые и 70-ые годы, причем впоследствии они были пересмотрены. Последняя основная модификация стандартов, регулирующих использование золы в дорожном строительстве, выполнена в 1997–98 гг., и именно эти стандарты действуют в настоящее время. Эти польские стандарты охватывают широкую область применений, начиная с использования золы для насыпей, затем ее добавками для обработки почвы и, наконец, ее использованием в качестве составных частей в гидравлически связанных смесях – так называемых золобетонах. Кроме того, стандарт PN-S-96035:1997 регулирует характеристики используемой в дорожном строительстве летучей золы.

К сожалению, все упомянутые стандарты касаются только золы, образующейся при сжигании угля в котлах на пылевидном топливе, т.е. так называемых обычных (стандартных) котлах. Они не включают золу после котлов со сжиганием в кипящем (псевдоожигенном) слое (СКС) и золу, перемешанную с продуктами обессеривания топочных газов (ОТГ).

Новые европейские стандарты, относящиеся к золе, в настоящее время используются на дискреционной основе PN EN (U), и вводят новую классификацию, укрупняющую области применения всех типов золы, производимой сейчас на ТЭС и ТЭЦ. Это открывает большие возможности для золы, получаемой при СКС.

ОСНОВНЫЕ ПОЛЬСКИЕ СТАНДАРТЫ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

PN-S-06103:1997 – Дороги для легковых автомобилей. Опорное основание дороги; стандарт предусматривает сооружение оснований из золы антрацита или бурого угля (в соответствии со стандартом PN-S-96035:1997) в комбинации с другими составляющими.

Этот стандарт предусматривает три класса прочности золобетона:

- класс $R_{42}^m = 1,5 \dots 3,0$ МПа,
- класс $R_{42}^m = 3,0 \dots 5,0$ МПа,
- класс $R_{42}^m = 5,0 \dots 8,0$ МПа.

Класс оснований определяется категорией транспортной нагрузки и расположением основания в поперечном сечении дороги относительно дорожного покрытия (основное и вспомогательное основание). Содержа-

ние золы антрацита (типа РК) в смеси может достигать 95 %.

PN-S-96035:1997 – Дороги для легковых автомобилей. Летучая зола, соответствующая классификации и конкретным требуемым свойствам летучей золы, подходящей для дорожного строительства. Этот стандарт включает золу от антрацита (РК) и бурого угля (РВ). Дополнительно вводятся три подкласса:

- подкласс РК а — зола как гидравлическая добавка к связующему материалу,
- подкласс РК б — зола как мелкозернистая часть минеральных смесей, имеющих до того неподходящий гранулометрический состав,
- подкласс РВ с — зола как связующий материал.

Этот стандарт определяет также требования и набор испытаний и дает общие указания по пригодности золы для дорожного строительства.

PN-S-02205:1998 — Дороги для легковых автомобилей. Земляные работы. Требования и испытания. Данный стандарт, как и некоторые другие стандарты, позволяет использовать летучую золу и золошлаковые отходы как материалы для сооружения дорожных насыпей. Золошлаковые смеси должны соответствовать требованиям стандарта PN-S-96035:1997. Стандарт позволяет использовать летучую золу для нижних слоев насыпей при условии, что там они будут защищены от проникновения воды. Использование в верхних слоях насыпей возможно при добавлении связующего материала, улучшающего золу. Стандарт устанавливает также требования для различных слоев насыпей и требования для минеральных материалов и золы, а также для смесей золы и шлака.

PN-S-06102:1997 — Дороги для легковых автомобилей. Основание из механически устойчивых составов, в которых зола может использоваться как составная часть, улучшающая свойства смешиваемых дробленых веществ. Если смесь не соответствует техническим требованиям, ее можно улучшить добавлением золы.

PN-S-96012:1997 — Дороги для легковых автомобилей. Опорное основание и степень смешения с цементом, включая использование золы для улучшения гранулометрического состава и характеристик обработанного грунта. При таком применении зола должна обеспечивать лучший гранулометрический состав устойчивого грунта или состава.

Технические стандарты дополнены целой группой технических соглашений. В случае, когда нет подходящего, официального и действующего польского стандарта, для всех связующих материалов и изделий заводского изготовления требуется техническое соглашение (что-то типа псевдостандарта).

Отдельные технические соглашения:

EPO Spółka z o. o.:

1. Техническое соглашение, подготовленное Научно-исследовательским институтом дорог и мостов IBDiM (Research Institute for Roads and Bridges) № AT/2006-03-2009 для бетонных смесей EPO-BET при сооружении основных и вспомогательных опорных оснований, а также для упрочненных слоев и наклонных оснований в дорожных насыпях.
2. Техническое соглашение, подготовленное IBDiM № AT/2005-03-1932 для гидравлических дорожных связующих материалов EPO-MIX, которые предназначены для применений с техническими средствами регулирования дорожного движения,
3. Техническое соглашение, подготовленное IBDiM № AT/200-04-1820 для легких дробленых составов EPO из шлака котельных установок для дорожного строительства, в качестве составов для оснований, добавок для улучшения гранулометрического состава и заполнителей или фиксаторов.

UTEX Spółka z o. o.:

AT/2004-04-1651	Поверхностный шлаковый состав UTEX
AT/2004-04-1749	Связующий агент Solitex для улучшения грунта
AT/2005-04-1827	Смесь бетона с золой и шлаком
AT/2005-03-1866	Гидравлический дорожный связующий агент Solitex

ЕВРОПЕЙСКИЕ СТАНДАРТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПСУ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Европейские стандарты EN, регулирующие использование продуктов сжигания угля (ПСУ) в дорожном строительстве подготовлены Техническим Комитетом TC 227 CEN:

EN 14227-3:2007 — Гидравлически связанные смеси – требования; Часть 3: Смесей, соединенные летучей золой; содержит требования к смесям, стабилизированных золой, которая действует либо как часть связующего агента, либо как основная составляющая состава.

EN 14227-4: 2005 — Гидравлически связанные смеси – Часть 4: Летучая зола для гидравлически стабильных смесей, содержит характеристики и установленные для золы требования.

EN 14227-1 — Технические требования к несвязанным и гидравлически связанным смесям. Часть 1: Смесей, соединенные цементом, для строительства несущих нагрузку слоев и слоев опорного основания, для строительства и поддержания несущих нагрузку слоев и опорных оснований дорог, аэродромов и других транспортных узлов.

EN 14227-5 — Гидравлически связанные смеси – Часть 2: Смесей, стабилизируемые дорожными соединяющими материалами; этот стандарт вводит определение, „смесей, стабилизированных дорожными соединяющими материалами”, которое используется при строительстве дорог, аэропортов и других узлов с покрытиями для транспорта и определяет рекомендации к составляющим частям, составу смеси и по лабораторным испытаниям.

Текущее состояние стандартизации по использование продуктов сжигания угля в Польше и Европе позволяет широко использовать золу и шлак в качестве автоном-

ных материалов при дорожном строительстве или в комбинации с минеральными материалами в технологиях, в которых стабилизация осуществляется цементом.

В зависимости от типа применения в структуре дороги это могут быть:

- смеси для земляных работ, заменяющие минеральные почвы,
- смеси, обрабатываемые и стабилизируемые гидравлическими связующими материалами.

Слой износа дорожного покрытия	Слой дорожной одежды	
Связующий слой		
Основное опорное основание		
Вспомогательное опорное основание		
Созданный уклон	Дренажный слой	Земляные работы
	Теплоизолирующий слой	
	Упрочняющий слой	
Естественный уклон или насыпь		

Рис. 1. Части структуры дорог

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ В СТАНДАРТЕ PN EN 14227-4

Сравнительно новый стандарт PN EN 14227-4 относится к летучей золе для гидравлически связываемых смесей и открывает широкие возможности ее использования. Летучая зола в гидравлически связываемых смесях может действовать как:

- добавка с составу, улучшающая гранулометрический состав смеси (золосодержание до 20 %),
- пуццолановая добавка или даже автономный связующий агент (золосодержание от 3 до 20 %),
- основная составляющая золовых смесей – золобетонов (золосодержание до 97 %).

Зола, соответствующая требованиям стандарта PN EN 14227-4, используется также для обработки почв с тем, чтобы они были пригодны для строительства в соответствии с EN 14227-14. Летучая зола действует как осушитель, повышающий несущие свойства грунта, или как гидравлический или пуццолановый агент, приводящий к связыванию почв и к созданию свойств сопротивления сжатию и замерзанию.

В стандарте PN EN 14227-4 принята новая классификация видов золя, отличающаяся от используемой до сих пор. Лишь два вида золя имеют названия: кремнистая зола и известковая зола. Следует отметить, что стандарт не ограничивает ни технологию сжигания, ни тип угля. Это означает, что стандарт касается всех вводов золя как от антрацита, так и бурого угля, сжигаемых в энергоустановках с применением различных технологий сжигания и обессеривания уходящих газов. Для каждого типа золя используется свой набор испытаний. Вид золя следует определять с помощью анализа состава оксидов в данной золе.

В табл. 1 и 2 представлены программы испытаний для каждого вида золя в соответствии со стандартом PN EN 14227-4.

Таблица 1. Программа испытаний кремнистой летучей золы согласно стандарту EN 14227-4

п.	Вид испытания	Метод испытания согласно стандарту:
		кремнистая зола
1.	Гранулометрия (зерна, проходящие отверстия сита размером 90 и 45 микрон)	EN 451-2
2.	Потеря веса на прокалывание	PN EN 196-2
3.	Определение – SO ₃	PN EN 196-2
4.	Определение свободной извести и отсутствия дефектов ^{*)}	EN 451-1
5.	Влагосодержание	—
6.	Пуццолановое действие (в случаях, когда оно требуется)	Измерение прочности на сжатие
7.	^{*)} Отсутствие дефектов (требуется, когда свободный CaO >1 %)	PN EN 196-2

Таблица 2. Программа испытаний для известковой золы согласно EN 14227-4

п.	Вид испытания	Метод испытания согласно стандарту:
		известковая зола
1.	Гранулометрия (зерна, проходящие отверстия сита размером 90 и 315 микрон)	PN EN 196-6
2.	Отсутствие дефектов	PN EN 196-3
3.	Реактивная окись кальция (негашеная известь)	PN EN 197-1
4.	Водосодержание	—
5.	Гидравлическая активность (в случаях, когда она требуется)	Измерение прочности на сжатие

Число показателей, которые должны определяться в испытаниях согласно новому стандарту, существенно меньше по сравнению со старым польским стандартом PN-S-96035, что значительно упрощает контроль работы энергоустановки. Вид золы может быть определен на основании химического состава, который известен после испытаний на каждой электростанции, производящей золу. Новый стандарт не предусматривает каких-либо испытаний по определению естественной радиоактивности, поскольку многочисленные ранее проведенные исследования без сомнения доказали, что радиоактивность различных видов летучей золы отвечает требованиям, предъявляемым к строительным материалам. В новый стандарт не включены и другие показатели, такие как: плотность в неуплотненном состоянии, содержание посторонних включений, общее содержание CaO и SiO₂.

Стандарт PN EN 14227-4 определяет виды испытаний и отдельно требования к каждому виду золы. Например, для видов известковой золы не требуются испытания по SO₃ или на воспламенение, что открывает возможности использования золы после СКС и золы с продуктами FGD, которые обычно содержат более SO₃, чем обычная зола. Структурные испытания показывают, как данная зола будет себя вести в гидравлически связанной смеси.

В стандарте введены два новых показателя золы: **пуццолановая активность** и **гидравлическая активность**. С точки зрения классификации золы это очень важные параметры, показывающие те потенциальные свойства, которых может получать смесь с данной летучей золой. Пуццолановая и гидравлическая активности определяются при испытаниях прочности смеси с известной золой по стандартному пороговому значению (активирующим агентом при определении пуццолановой способности является известь).

Виды летучей золы, соответствующие стандарту PN EN 14227-4, используются для гидравлически связываемых золосодержащих смесей согласно стандарту PN EN 14227-3. Связываемые смеси, по классам прочности находящиеся между 0,5 и 36 МПа, используются для дорожных оснований. Стандарт PN EN 14227-3 вводит 5 различных видов смесей, а именно: FABM 1...5 (по первым буквам от Fly Ash Bound Mixtures — смеси, связываемые летучей золой).

Вид смеси зависит, прежде всего, от состава и распределения частиц смеси по размерам. Стандарт определяет граничные распределения частиц по размерам, для чего в стандарте приведены граничные кривые. В целом смеси с золой можно разделить на три класса:

- Смеси FABM 1...3 — образованные, прежде всего, мелкозернистыми составами или крупнодисперсными составами с добавлением золы или связующих материалов,
- FABM 4 — смеси с заявленным составом, гранулометрией и рабочими характеристиками.
- FABM 5 — смеси, приготавливаемые в основном из золы с добавлением связующих материалов.

Выгоды, которые получаются от использования материалов, получаемых из продуктов сжигания угля:

- экономичный, долговечный и разносторонний материал,
- материал с низкой удельной плотностью (находящейся после его сжатия в интервале 1,1 — 1,3 кг/дм³), что дает снижение транспортных расходов до 40 %,
- доступность материала по всей стране,
- значительная прочность и морозостойкость,
- их использование сохраняет природные ресурсы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принятие новой классификации видов золы согласно стандарту PN EN 14227-4 представляется правильной, поскольку она открывает новые возможности использования самых различных видов летучей золы, которые ранее отсутствовали.

Новая классификация золы включает все ее виды в зависимости от технологий сжигания угля и обессеривания уходящих топочных газов, и даже те ее виды, которые ранее не соответствовали требованиям стандарта PN-S-96035.

В соответствии с новой системой классификации независимо от типа сжигаемого угля, зола при СКС должна классифицироваться как известковая.

Новая система классификации и программа испытаний в соответствии со стандартом PN EN 14227-4 представляются намного более простыми и точными, чем предшествующие им.

В гидравлически связанных смесях, соответствующих стандарту PN EN 14227-3, могут использоваться как из-

вестковая, так и кремнистая зола, отвечающие стандарту PN EN 14227-4.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Szczygielski T.** et. al: Raport dla BOT, Szczecin 2008.
2. **Kraszewski C.**: Normy drogowe a popioły z energetyki. Biuletyn VHP 2007.
3. "EMITOR" Agencji Rynku Energii 2004.
4. **Hycnar J.J., Szczygielski T.**: Stan i perspektywy zagospodarowania popiołów lotnych i żużli rodzaju wapniowego. Karbo 2007 nr 1.
5. **Starnawski G., Malinowski P.**: Alternatywne materiały oparte o UPS dla budownictwa inżynierskiego. Biuletyn VHP 2007.
6. **Resources of PU UPS** (Polish CCP Union).

Т. Щигельски. Стандартизация продуктов сжигания, используемых при строительстве дорог в Польше // Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23–24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 69–72.