Государственный дорожный научно-
исследовательский институт
ФГУП «СОЮЗДОРНИИ»

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛ УНОСА И ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС

Москва 2003

gost.e-ecolog.ru

Государственный дорожный научно-
исследовательский институт
ФГУП «СОЮЗДОРНИИ»

Е.И. Путилин, В.С. Цветков

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛ УНОСА И ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС

Москва 2003

УДК 625.7/8:691.33

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛ УНОСА И ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.
Е.И. Путилин, В.С. Цветков. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. – Союздорнии. М., 2003

Освещены вопросы применения зол и золошлаковых материалов при строительстве земляного полотна и слоев дорожных одежд; при укреплении грунтов различного состава как в виде самостоятельного вяжущего материала, так и в качестве компонента комплексного вяжущего.

Рассмотрены классификационные характеристики отходов ст сжигания твердого топлива, приводимые в литературных источниках по их использованию в дорожном строительстве.

Даны результаты исследования свойств золошлаковых отходов от сжигания углей различных месторождений России применительно к условиям дорожного строительства.

Изложен отечественный и зарубежный опыт строительства земляного полотна и слоев дорожных одежд с применением зол сухого улавливания и отвальных смесей гидроудаления.

Перечислены действующие нормативные требования к таким отходам.

Табл. 11

© Государственный дорожный научно-исследовательский институт, ФГУП «Союздорнии», 2003

УДК 625.7/8:691.33

ПРЕДИСЛОВИЕ

В России около 70% всей электроэнергии вырабатывается при сжигании твердого топлива – углей, сланцев, торфа, в результате чего образуется около 50 млн. тонн в год отвалов золошлаковых смесей. К концу 2001 г. в отвалах ТЭС находилось свыше 1,2 млрд. тонн таких отходов, а уровень их утилизаци составляет только около 10%. Поэтому использование отходов от сжигания твердого топлива – это не столько вопрос экономии материальных ресурсов, сколько проблема возрастающего загрязнения окружающей среды и , следовательно, здоровья нации.

В настоящее время во многих странах, в том числе в России, накоплен достаточно большой опыт применения золошлаковых материалов во многих отраслях народного хозяйства.

Обзор отечественного и зарубежного опыта использования зол и золошлаковых материалов освещает вопросы их применения при строительстве земляного полотна и слоев дорожных одежд. 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). Накоплен опыт применения этих материалов в асфальто- и цементобетонах.

Рассмотрены классификационные характеристики отходов от сжигания твердого топлива, приводимые в литературных источниках по их использованию в дорожном строительстве.

Даны результаты исследования свойств золошлаковых отходов от сжигания углей различных месторождений России применительно к условиям дорожного строительства.

Изложен отечественный и зарубежный опыт строительства земляного полотна и слоев дорожных одежд с применением зол сухого улавливания и отвальных смесей гидроудаления.

Перечислены действующие нормативные требования к этим отходам.

Настоящая работа составлена Е.Н. Путилиным и В.С. Цветковым.

В сборе материалов по применению зол и шлаков в дорожном строительстве большую помощь оказали работники отдела научно-технической информации и международного сотрудничества Союздорнии, за которую авторы выражают им благодарность и искреннюю признательность

Генеральный директор
ФГУП «Союздорнии» *В.М. Юмашев*

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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. $м^3$ грунта;
- ✧ для создания дренирующих и морозозащитных слоев – 1,6-6 тыс. $м^3$ песка;
- ✧ для строительства дорожного основания – 0,8-5,4 тыс. $м^3$ 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. $м^3$ 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 вторичных ресурсов – отходов промышленности,*** которые можно использовать или в качестве непосредственно дорожно-строительного 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. Следует различать:

1. золу уноса сухого улавливания, когда зола, поступающая с электрофильтров и из циклонов ТЭС в золосборники, направляется специальным пневмотранспортом в силосные склады либо непосредственно в транспортные средства потребителей;
2. золошлаковую смесь гидроудаления, когда при очистке золосборников с помощью воды зола и шлак в виде золопульпы удаляется в отвалы.

В России золы и золошлаковые смеси образуются на 200 ТЭС(ТЭЦ, ГРЭС), и только приблизительно на 20 из них имеются установки для сухого улавливания золы. Объем золошлаковых

отходов после сжигания углей, сланцев и торфа, по данным Всероссийского теплотехнического научно-исследовательского института (ВТИ), составляет 40-50 млн. т в год. В отвалах энергосистем России к концу 2001 г. находилось около 1,2 млрд. т золошлаковых материалов (табл. 1).

Таблица 1

Сводная таблица образования и накопления золошлаковых отходов в энергосистемах России по состоянию на 31 декабря 2001 г. (данные ВТИ)

АО-энерго ТЭС	Образовано ЗШО в 2001 году, тыс. т	Накоплено ЗШО к 31.12.01., тыс. т
ОЭС «Центрэнерго». Всего:	**2138,199**	**246379,197**
Астраханьэнерго		61,0
Белгородэнерго	0,8	
Владимирэнерго		1909,839
Волгоградэнерго	51,453	
Вологдаэнерго	180,836	11463,836
Воронежэнерго	29,321	845,818
Ивэнерго	28,3	7501,5
Костромаэнерго	6,831	209,972
Курскэнерго	7,222	4007,1
Нижновэнерго		8455,0
Рязанская ГРЭС	280,0	37874,981
Тверьэнерго	7,355	548,238
Тулэнерго	10,7	96278,7
Черепетская ГРЭС	379,581	43871,279
Мосэнерго	439,5	31395,7
Тамбовэнерго		1367,734
Ярэнерго	716,3	588,5

Продолжение табл. 1

ОЭС «Волгаэнерго». Всего:	**58,124**	**8071,263**
Самарэнерго	53,3	8071,0
Чувашэнерго	4,824	0,263
ОЭС «Севзапэнерго». Всего:	**840,933**	**43418,577**
Архэнерго	281,379	6786,356
Брянскэнерго	1,073	3115,352
Комиэнерго	357,285	9947,665
Колэнерго	147,0	9068,0
Новгородэнерго	4,826	548,004
Смоленскэнерго	11,6	11352,0
Ленэнерго	37,77	2601,2
ОЭС «Уралэнерго». Всего:	**10184,263**	**468400,381**
Башкирэнерго	60,846	172,704
Кировэнерго	95,566	25599,079
Курганэнерго	122,27	18491,29
Свердловэнерго	7305,861	210369,944
Оренбургэнерго		8070,2
Удмуртэнерго	13,9	1065,864
Пермэнерго	57,52	19586,8
Челябэнерго	1159,6	90288,2
Троицкая ГРЭС	1368,7	94756,3
ОЭС «Сибирьэнерго». Всего:	**8811,521**	**300595,59**
Иркутскэнерго	1476,8	73062,8
Алтайэнерго	469,571	15022,81
Гусиноозерская ГРЭС	210,5	6729,6
Харанорская ГРЭС	103,762	680,018

Окончание табл. 1

Березовская ГРЭС	145,637	1371,815
Бурятэнерго	127,437	3978,937
Красноярскэнерго	524,3	14668,0
Красноярская ГРЭС-2	178,4	10754,0
Новосибирскэнерго	674,002	24961,622
Томскэнерго	18,551	1251,199
Кузбассэнерго	2711,3	85750,8
Тувазнерго	16,3	80,0
Омскэнерго	1736,44	50864,522
Читаэнерго	372,931	10626,689
Хакасэнерго	45,59	792,778
ОЭС «Востокэнерго». Всего:	**19285,314**	**141940,263**
Хабаровскэнерго	987,287	15844,665
Сахалинэнерго	375,223	7420,267
Магаданэнерго	65,0	5064,6
Дальэнерго	807,1	40897,5
Чукотскэнерго	37,0	674,4
Амурэнерго	208,5	8556,4
Якутскэнерго	236,087	8055,993
Приморская ГРЭС	16569,117	55426,438
ОЭС «Южэнерго». Всего:	**861,721**	**47046,021**
Ростовэнерго	29,9	5355,2
Новочеркасская ГРЭС	831,821	41690,821
ИТОГО:	**42180,075**	**1255851,292**

Уровень утилизации этих отходов в России составляет около 10%; в ряде развитых стран – около 50%, во Франции и в Герма-

нии – 70%, а в Финляндии – около 90% их текущего выхода. Там применяются в основном сухие золы, и проводится государственная политика, стимулирующая их использование. Так, в Польше резко повышена цена на землю под золоотвалы, поэтому ТЭЦ доплачивают потребителям с целью 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 [1].

Отвалы ТЭС в России занимают значительные территории (около 200 тыс. га), являются источником загрязнения воздушного и водного бассейнов и увеличивают минерализацию грунтовых вод. В ряде регионов эти отвалы значительно осложнили экологическую обстановку. Если учесть, что около 70% всей электроэнергии в стране вырабатывается при сжигании твердого топлива, то рост золошлаковых отходов будет продолжаться и, следовательно, возрастет их отрицательное воздействие на экологию. Таким образом, утилизация золошлаковых отходов становится уже не столько вопросом экономии материальных ресурсов, сколько проблемой безопасности населения страны.

Научные исследования и практика дорожного строительства показали, что золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива представляют собой материалы, пригодные для применения во многих отраслях народного хозяйства [42]:

- ✧ в сельском хозяйстве – как удобрение;
- ✧ в металлургии – как шихта для получения алюминия и концентрат для получения железа;
- ✧ в строительной индустрии золошлаковые смеси и золы сухого улавливания – как сырье для цементов и бесклинкерных вяжущих, бетонов (тяжелых, легких, ячеистых), пористых заполнителей, силикатных, керамических, теплоизоляционных и других материалов.

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 так-

же как активную добавку к неорганическим и органическим вяжущим веществам.

Широкий размах работы по использованию золошлаковых материалов в дорожном строительстве России приняли в 70-х годах. Связано это было с правительственными постановлениями по утилизации топливных отходов ТЭС.

В 1976 г. Министерство транспортного строительства СССР утвердило «Технические условия по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов твердого топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог» ВСН 184-75, в которых установлены требования к применению зол и золошлаковых материалов в дорожном строительстве.

В 80-х годах научно-исследовательские работы и практическое использование этих материалов были значительно активизированы. Это было связано с созданием и развитием сети автомобильных дорог в Западной Сибири, Нечерноземной зоне, где ресурсы традиционных дорожно-строительных материалов (высокопрочного щебня, песка, цемента) ограничены.

В 1976–1990 гг. был разработан ряд нормативных документов, развивающих возможности использования зол и золошлаковых смесей в дорожном строительстве. Их перечень приведен в разд. 5.

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–Каширa с применением зол и золошлаковых смесей построено около 300 км дорог. На автомобильной дороге Алтай–Кузбасс на отсыпке слоев земляного полотна использовано 65 тыс. $м^3$ золошлаковых материалов. Алтайавтодор в 1999–2002 гг. применял золы уноса Барнаульской ТЭЦ в конструктивных слоях дорожных одежд на автомобильных дорогах III–IV категорий.

2. СВОЙСТВА ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭС

2.1. Химические и физические характеристики зол и шлаков

Зола – несгорающий остаток с зернами мельче 0,16 мм, образующийся из минеральных примесей топлива при полном его сгорании и осажденный из дымовых газов золоулавливающими устройствами. *В зависимости от **вида топлива*** зола подразделяется на антрацитовую, каменноугольную, буроугольную, сланцевую, торфяную и др. 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%. ***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.

Топливный шлак – это материал, скапливающийся в нижней части топочного пространства тепловых агрегатов и удаляемый в жидком или спекшемся состоянии. При совместном удалении золы и шлака гидротранспортом на тепловых электростанциях образуется золошлаковая смесь.

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.

Таблица 2

Химический состав зол ТЭС

Вид топлива, ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС	Содержание окислов, % (в пересчете на сухое вещество)												Ph водной вытяж-ки	Уд. поверх., $см^2/г$
	SiO_2	R_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	SO_3	CaOсв	П.п.п.		
Горючие сланцы Поволжья, Сызранская ГРЭС	41,5-45,1	2,5-9,4	3,4-5,9	2,1-3,5	23,9-27,4	3,8-6,7	3,2-5,2			5,7-8,9	8,3-12,2			1800-3200
Бурый уголь, Ангренская ГРЭС Ангренского угольного бассейна	28,8-36,1	18,1-41,1	14,8-22,1	3,3-19,0	11,9-23,5	4,1-5,8	1,1-2,0			4,5-9,0	4,3-6,8			1600-3000
То же, Иркутская (Братская) ТЭЦ-6 Канско-Ачинского угольного бассейна, Ирма-Бородинский разрез	28,2-44,4 31,6-55,2	10,5-27,5 10,3-36,0	5,1-14,0 3,9-23,0	5,4-13,5 6,4-13,0	22,8-38,2 21,2-32,4	4,2-8,1 3,8-7,2	0,3-0,8 0,8-1,6			1,3-5,2	8,9-14,5 5,3-7,9	0,3-3,4		1800-2500 1690-2950
То же, Новосибирская ТЭЦ-3 Канско-Ачинского угольного бассейна, Назаровский разрез	24,2-27,0 23,2-41,7	20,5-28,3 16,7-32,9	6,7-7,5 6,4-13,0	13,8-20,7 10,3-19,9	38,0-44,1 24,2-44,6	4,1-5,5 4,5-5,2	0,2-0,3 0,4-2,2			1,7-3,7 0,8-4,5	6,7-11,8 2,3-13,2	0,2-3,5		2000-2500
Каменный уголь, Рефтинская ГРЭС Экибастузского угольного бассейна	59,69 43,2-65,0	34,2 25,5-54,4	29,1 21,3-29,0	5,1 4,2-25,4	2,52 0,4-12,7	0,94 0,8-3,5	0,11-0,8	0,4-0,7		0,22 0,4-0,5	- -	3,2		
То же, Чульманской ГРЭС, Нерюнгинское месторождение	49,3-54,4	18,9-20,8	17,5-18,8	1,4-2,0	1,5-2,2	0,7-1,0				0,2-0,3	-	23-24,2	8,2	2400-2800
Бурый уголь, Дорогобужская ТЭЦ Подмосковного угольного бассейна	49,02	45,8	33,5	12,3	3,09	0,48				следы				
То же, Рязанская ГРЭС Подмос ковного угольного бассейна	49,41 46,3-49,7	45,7 40,8-51,8	39,9 31,8-36,6	5,8 9,0-15,2	3,94 2,6-4,0	0,73 0,3-1,1	0,1-0,2	0,7-0,9	0,7-1,2	0,98 0,2-1,2	<1,0	0,1-1,0		1700-4500
То же, Краснокаменская ТЭЦ Харанорского месторождения	55,52	24,6	19,8	4,8	11,28	3,38				0,63				
Антрацитовый уголь, Новочер-касская ГРЭС Донецкого уголь-ного бассейна	42,51-46,4	29,7-32,0	19,9-21,7	9,8-10,3	3,15-3,4	1,9-2,11	0,5-1,1	3,7-4,0		0,87-1,57		13,8-14,3	9,2	1400-1500
ТЭЦ г. Боров-Дол, Болгария	50-58	23,8-32,3	15-22	8,8-10,3	2,2-3,0	1,7-2,2	-	2,6-3,4				0,3-2,0		
ТЭЦ Болгария	55-59	30,8-39,4	25-29	5,8-10,4	1,5-3,7	1,3-3,0	-	1,2-2,3				0,5-2,0		
ТЭЦ г. Туров, Польша	51,01	38,3	33,7	4,6	1,68	0,52	0,39	1,66				3,6		
ТЭЦ г. Сталева-Воля, Польша	51,57	25,2	19,6	5,6	4,04	0,5	0,34	1,8				4,3		
ТЭЦ Японии	53-63	27-34	25-28	2-6	1-7	1-2	0,8-2,4	1,8-3,2				0,1-1,2		
ТЭЦ Англии	41-51	29-48	23-34	6-14	1-8	1,4-3,0	0,2-1,9	1,8-4,2				0,6-2,7		
ТЭЦ Франции	29-54	15-48	10-33	5-15	1-39	1-5	0,1-9,0	0,7-6,0				0,3-15,2		
ТЭЦ ФРГ	34-50	29-50	21-29	8-21	2-12	1-5	-	-				1,5-20,1		
ТЭЦ США	32-52	22-59	14-28	8-31	2-12	0-2	-	-				1-18		

Химический состав ЗШМ от сжигания углей в России и некоторых зарубежных странах приведен в табл. 2. Они 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, применяемым для производства различных видов бетонов и строительных растворов. Нормируется содержание оксидов – CaO, MgO, SO_3, Na_2O и Ka_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 SO_3 по требованиям сульфатостойкости – 3–6% (в зависимости от вида исходного топлива);
- ✧ суммарное содержание щелочных оксидов Na_2O и K_2O – 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 неорганическую и органическую составляющие. Неорганическая фаза, в свою очередь, состоит из составляющих:

- ✧ *аморфной*, представленной стеклом и аморфизированным глинистым веществом;
- ✧ *кристаллической*, включающей 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.).

Стекло в золах может быть силикатного, алюмосиликатного и железисто-алюмосиликатного состава. Аморфизированные глинистые вещества – метакаолинит и слабоспекшееся аморфизированное глинистое вещество, а также спекшиеся и частично

остеклованные частицы определяют химическую активность золы, форму и характер поверхности зольных частиц.

Частицы большинства зол имеют сферическую форму и гладкую остеклованную фактуру поверхности. Однородность частиц различна. Более однородны частицы, состоящие полностью из стекла. Имеются частицы, внутренняя часть которых не расплавилась и слагается из мельчайших минеральных и коксовых зерен. Встречаются и полые шарики в результате вспучивания стекла в момент образования частицы. Размер частиц – от нескольких микрон до 50-60 микрон.

Могут также образовываться стекловидные частицы неправильной формы. У некоторых частиц поверхность губчатая из-за различного количества пузырьков. Они также могут содержать во внутренней части большое количество кристаллических веществ.

При недостаточно высокой температуре сгорания топлива и высокой тугоплавкости его зольной части образуются золы, состоящие из аморфизированного глинистого вещества, представленного пористыми частицами неправильной формы. Эти частицы имеют высокое водопоглощение.

В крупных фракциях золы содержатся агрегаты, образовавшиеся в результате спекания множества мелких зерен. Они неоднородны и имеют низкую прочность.

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 (табл. 3 и 4).

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%

Таблица 3

Зерновой состав некоторых зол сухого улавливания

Вид топлива	Содержание, %, зерен размером, мм						
	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	<0,05
Каменный уголь, Экибастузский бассейн	–	–	–	0,5	9,5	34,0	56,0
Бурый уголь, Харанорское месторождение	–	0,1	1,4	37,5	52,0	9,0	–
Каменный уголь, Нерюнгринское месторождение	0,3	0,6	2,8	3,5	37,0	2,9	52,9
Антрацитовый уголь, Донецкий бассейн	–	0,1	0,1	18,1	0,1	22,5	59,1

[10]. 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.

Системы гидроудаления золы и шлака направляют в отвалы полидисперсные шлакозольные смеси. Вблизи места выпуска пульпы образуется шлаковая зона отвала, в которой преобладают частицы крупнее 0,25 мм, в отдалении – мельче 0,25 мм.

От зернового, химического и фазового составов золы зависит ее насыпная плотность, которая может составлять от 0,6 до 1,3 г/см^3. Удельный вес (истинная плотность) золы колеблется от 1,75 до 3,5 г/см^3, составляя в среднем 2,1-2,4 г/см^3. Физические характеристики некоторых зол приведены в табл. 5.

Таблица 4

Зерновой состав золошлаковых смесей гидроудаления

Вид топлива	Расстояние от места слива,м	Содержание, %, зерен размером, мм									
		>20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25 -0,1	0,1-0,05	<0,05
Каменный уголь Кузнецкого бассейна, Московская ТЭЦ-22	–	3,2	13,8	17,4	16,0	5,2	7,2	9,8	13,0	11,0	3,4
То же, Барабинская ГРЭС	50	1	11	12	16	9	3	8	18	10	12
	100	–	3	7	10	5	3	8	29	24	11
	150	7	4	6	7	4	3	10	26	26	7
То же, Игусиновская ТЭЦ	–	–	–	9,3	30,1	13,2	11,3	12,4	7,7	8,2	7,8
Каменный уголь Экибастуского бассейна,Рефтинская ГРЭС	50	–	–	1,6	1,8	3,3	3,8	11,8	54,2	14,3	9,2
	100			–	1,3	1,6	1,3	6,8	48,0	14,8	26,2
	200			–	–	–	0,1	1,0	19,5	36,4	43,0
	300			–	–	–	0,9	3,6	28,8	27,5	39,2
То же, Степногорская ТЭС	–	–	–	–	–	1,0	3,1	8,4	22,7	37,9	16,6	10,3
Бурый уголь Подмосковного бассейна, Ступинская ТЭЦ-17	50	–	3	1	2	7	14	18	29	26	–
	100		–	–	2	1	4	7	45	41	
	150		–	–	–	2	2	5	31	60	
То же, Дорогобужская ТЭЦ	–	–	2	2	2	3	12	42	23	14	–

Окончание табл. 4

Бурый уголь, Рязанская ГРЭС	–	–	3	2	4	9	7	13	33	23	6
То же, Щекинская ГРЭС	–	–	–	–	–	–	1	3	42	37	17
То же, Харанорского месторождения, Краснокаменская ТЭЦ	–	–	3	19	26	14	9	11	–	13	5
Каменный уголь Печорского месторождения, Череповецкая ГРЭС	50 100 200 300	–	2,6 3,1 2,1 2,9	6,8 7,3 6,8 4,7	16,2 17,2 4,2 6,7	14,6 16,1 5,5 5,4	9,9 10,6 4,9 4,4	24,8 22,8 21,7 22,2	16,3 14,0 33,4 35,4	4,9 3,2 15,8 9,9	3,9 5,7 5,6 8,4

Крупность зерен шлаков – от 10 до 15 мм, удельный вес – 2,8-3,3 г/см^3, насыпная плотность – 1,1-1,3 г/см^3.

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

Таблица 5

Физические свойства зол

Уголь	ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС	Удельный вес, г/см^3	Насыпная плотность, г/см^3	Удельная поверхность, см^2/г	Водопотребность, %
Донецкий	Московская-11	2,13	0,89	2850	55
	Мироновская	2,15	0,85	2700	56
Кузнецкий	Московская-22	2,21	0,92	2500	54
	Казанская	2,19	0,83	1360	42
Подмосковный	Ступинская	2,09	0,70	2800	60
Канско-Ачинский	Назаровская	2,36	0,99	2300	58

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.

Топливные золы и шлаки, как правило, не способны непосредственно взаимодействовать с водой. Это характерно лишь для зол, содержащих свободные оксиды кальция и магния. Аморфные компоненты зол и шлаков обладают пуццолановой активностью, т. е. способностью связывать при обычных температурах гидроксид кальция, образуя нерастворимые соединения. При их накоплении появляется возможность гидравлического твердения вяжущих из смесей извести или портландцемента с золой или шлаком.

Пуццолановой активностью в составе зол и шлаков обладают продукты обжига глин: аморфизированное глинистое вещест-

во типа метакаолинита, аморфные SiO_2 и Al_2O_3 и алюмосиликатное стекло. Реакционная способность по отношению к гидроксиду кальция у них различна и зависит от температурных превращений каолинитовых глин при сжигании топлива. Обладающий большой удельной поверхностью метакаолинит $Al_2O_3x2SiO_2$ активно реагирует с $Ca(OH)_2$ при обычных температурах с образованием гидросиликатов кальция и гидрогеленита.

Активность образующихся при более высоких температурах аморфных SiO_2 и Al_2O_3 заметно меньше, что объясняется резким снижением удельной поверхности вследствие спекания и кристаллизации новообразований – муллита, кристобаллита.

Высокотемпературное спекание и плавление глинистых минералов резко снижают их удельную поверхность и соответственно активность. Вследствие этого стеклофаза зол и шлаков малоактивна при обычных температурах.

Повышение температуры сжигания топлива сверх допустимого предела приводит к падению активности большинства топливных зол.

2.2. Классификация зол и шлаков

Классификацией зол и шлаков занимались многие исследователи – Н.А. Попов [2], Н.А. Иванов [3], Г.Н. Книгина и М.В. Балахнин [4], Е.А. Галибина [5], А.В. Волженский и В.Н. Виноградов [6, 7, 8], В.А. Мелентьев [9] и другие.

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:

$$M_o = (CaO + MgO + K_2O + Na_2O) : (SiO_2 + Al_2O_3);$$

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

$$M_c = SiO_2 : (Al_2O_3 + Fe_2O_3);$$

- ✧ коэффициент качества К, показывающий отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность к оксидам, снижающим ее:

$$K = (CaO + Al_2O_3 + MgO) : (SiO_2 + TiO_2).$$

На основании многочисленных исследований топливных отходов электростанций, сжигающих топливо различных месторождений, золошлаковые материалы разделены на группы – активные, скрыто активные и инертные (табл. 6).

Таблица 6

Классификация топливных отходов от сжигания твердого топлива

Химические свойства		Золошлаковые материалы		
		активные	скрыто активные	инертные
Показатели качества	Мо	0,5-2,8	0,1-0,5	<0,1
	Мс	1,5-7,8	1,4-3,6	1,3-3,2
	К	1,0-3,6	0,5-1,5	0,4-0,9
Содержание форм кальция	$CaO_{общ}$	20-60	5-20	0,5-5
	$CaO_{своб}$	0-30	0-2	0-1
	$CaO_{сульф}$	0,5-9	0,2-2	0,1-1,6
	$CaO_{карб}$	15-45	5-15	0-5
Возможные области использования		Самотвердеющий материал. Местное вяжущее, изделия на его основе, преимущественно автоклавного твердения. Дорожное строительство	Требует интенсификации твердения. Производство изделий, твердеющих при тепловой обработке с активизиторами. Дорожное строительство	Сырье для производства кирпича, зольного гравия. Техногенный грунт. Дорожное строительство

*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 скрыто активным 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 активизиторами.

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.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗОЛОШЛАКОВЫМ МАТЕРИАЛАМ

Основным нормативным документом, в котором приведены и детализированы основные требования к золошлаковым материалам, используемым в дорожном строительстве, а также указания по технологии их применение являются «Технические указания по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов твердого топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог» (ВСН 185-75). Они основаны на обобщенных результатах исследований Союздорнии, его филиалов, Гипродорнии, Госдорнии и ряда других научно-исследовательских организаций с учетом производственного опыта.

ВСН 185-75 предусматривают применение в дорожном строительстве зол уноса и золошлаковых смесей, получаемых от сжигания в котлоагрегатах тепловых электростанций (ТЭС) твердого

топлива различного вида (бурого и каменного угля, торфа, горючих сланцев).

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.

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.

Критерием пригодности золошлаковой смеси для возведения земляного полотна считают их морозостойкость, которая характеризуется величиной относительного морозного пучения ($К_{пуч}$). Оно представляет собой отношение вертикальной деформации пучения при промораживании образца к его первоначальной высоте, выраженной в процентах. Степень пучинистости материалов определяют на образцах, выдержанных 7, 28 и 90 сут.

По степени морозостойкости золошлаковые смеси классифицируют на ***непучинистые*** ($К_{пуч}$<1%), ***слабо пучинистые*** ($К_{пуч}$=1÷3%), ***пучинистые*** ($К_{пуч}$=3÷10%) и ***сильно пучинистые*** ($К_{пуч}$ >10%). Непучинистые и слабо пучинистые золошлаковые смеси применяют при возведении насыпей земляного полотна без ограничений. Пучинистые золошлаковые смеси допускаются при обязательном осуществлении комплекса мероприятий по обеспечению устойчивости земляного полотна, особенно верхних его слоев, находящихся в зоне промерзания. К таким мероприятиям относятся:

- ✧ назначение крутизны откосов с учетом возможности механизированного планирования, уплотнения и укрепления поверхности откосов или устройства защитных слоев на откосах насыпи;
- ✧ применение морозозащитных слоев в верхней части земляного полотна;
- ✧ устройство дренажа или капилляропрерывающих слоев;

- ✧ устройство берм и изолирующих слоев в основании земляного полотна;
- ✧ укрепление обочин земляного полотна и устройство требуемого водоотвода в процессе послойного возведения земляного полотна.

Сильно пучинистые золошлаковые смеси для возведения насыпей земляного полотна не допускаются.

Золы уноса сухого улавливания, используемые в качестве самостоятельного вяжущего или активного компонента смешанного, должны отвечать требованиям, приведенным в табл. 7.

Таблица 7

Требования к золе уноса сухого улавливания

Нормируемый показатель	Требования к золе уноса		
	как самостоятельному вяжущему	активному компоненту	
		с цементом	с известью
Содержание свободного кальция, %	Не менее 8	Не более 4	–
Удельная поверхность, $см^2/г$, не менее	3000	3000	3000
Содержание сернистых и сернокислых соединений (в пересчете на SO_3), %, не более	6	3	–
Потери при прокаливании, %, не более	5	10	10

Золошлаковые смеси, применяемые как малоактивная гидравлическая добавка в сочетании с цементом или известью для укрепления грунтов, должны содержать частицы размером: мельче 0,071 мм – более 60%, крупнее 2 мм – не более 5%; п.п.п. – не более 10%.

Для укрепления золами сухого улавливания в качестве самостоятельного вяжущего или как компонента смешанного вяжущего, а также золошлаковыми смесями в сочетании с цементом пригодны:

- ✧ крупнообломочные несцементированные грунты, включая различные естественные смеси;
- ✧ отходы, получаемые при дроблении каменных материалов;
- ✧ пески гравелистые, пески крупные, средние, мелкие, в том числе пылеватые, а также однородные мелкие;
- ✧ супеси всех разновидностей;
- ✧ легкие суглинки.

Водородный показатель (pH) всех видов грунтов должен быть не ниже 4. Общее содержание легкорастворимых солей в обрабатываемых грунтах допускается не более 3% (по массе грунта) при сульфатном засолении и не более 5% – при хлоридном.

Грунты и материалы, получаемые как отходы камнедробления, укрепленные золами уноса или золошлаковыми смесями, должны отвечать требованиям табл. 8.

Таблица 8

Физико-механические свойства укрепленных материалов

Показатель	Класс прочности		
	1	2	3
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов в 90 сут, кгс/см^2	60-40	40-20	20-10
То же, на растяжение при изгибе, не менее	10	6	2
Коэффициент морозостойкости образцов в 90 сут, не менее	0,75	0,70	0,65
Влажность образца (сверх оптимальной влажности уплотнения) после испытания на замораживание-оттаивание , % по массе, не более	2	4	4

Содержание зол уноса сухого отбора, применяемых в качестве самостоятельного вяжущего или активного компонента, назначают не менее:

- ✧ 20% (массы смеси) при использовании золы в первом случае;
- ✧ 15-20% – во втором, в сочетании с 4-6% цемента, 5-8% – с известью.

Количество зол уноса или золошлаковых смесей, не отвечающих требованиям табл. 7, должно быть не менее 15-25% совместно с 5-10% цемента.

Для повышения прочностных показателей укрепленных грунтов вводят 4-6% (массы золы) хлористого кальция.

Для укрепления легких суглинков содержание золы должно составлять не ниже 25% (массы смеси). Морозостойкость таких укрепленных грунтов можно повысить добавкой каустической соды: 0,7-1% массы сухого грунта.

ГОСТ 25818-91 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов» предусматривает применение зол уноса сухого отбора в качестве компонента для приготовления тяжелых, легких, ячеистых бетонов и строительных растворов. Кроме того, они используются в качестве тонкомолотой добавки для жаростойких бетонов и минеральных вяжущих. Золы подразделяются на кислые (до 10% оксида кальция) и основные (более 10%). При этом нормируются:

- ✧ содержание оксида кальция, оксида магния, сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3, щелочных оксидов в пересчете на Na_2O;
- ✧ потеря массы при прокаливании;
- ✧ удельная поверхность;
- ✧ остаток на сите №008;
- ✧ влажность золы – не более 1% по массе;
- ✧ величина суммарной удельной активности естественных радионуклидов.

ГОСТ 25592-91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов» распространяется на золошлаковые смеси гидроудаления, применяемые в качестве компонента при приготовлении строительных растворов, а также тяжелых, легких и ячеистых бетонов для сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций и изделий.

Золошлаковые смеси состоят из шлакового песка (размер зерен от 0,315 до 5 мм) и шлакового щебня (размер зерен крупнее 5 мм). Нормируются:

- ✧ удельная поверхность;
- ✧ потеря массы при прокаливании;

- ✧ содержание оксидов кальция и магния, сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3, щелочных оксидов в пересчете на Na_2O;
- ✧ влажность – не выше 15% по массе;
- ✧ величина суммарной удельной активности естественных радионуклидов.

Шлаковый щебень золошлаковой смеси должен обладать стойкостью против силикатного и железистого распадов, отвечать требованиям по морозостойкости.

ГОСТ 9128-97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон» допускает применять в качестве минеральных порошков для пористого и высокопористого асфальтобетона, а также плотного асфальтобетона марок II и III золы уноса и золошлаковые смеси. Для этих материалов нормируются:

- ✧ зерновой состав;
- ✧ пористость;
- ✧ водостойкость образцов из смеси порошка с битумом;
- ✧ показатель битумоемкости;
- ✧ потери при прокаливании;
- ✧ содержание активных окислов кальция и магния, а также водорастворимых соединений.

ГОСТ 23538-94 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства» предусматривает применение в качестве вяжущего материала золу уноса с удельной поверхностью свыше 150 $м^2/кг$, содержанием сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3 не более 6% и потерями при прокаливании не более 5% по массе.

Золошлаковая смесь, подвергаемая обработке неорганическими вяжущими, должна отвечать требованиям ГОСТ 25592-91.

ГОСТ 30491-97 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства» предусматривает возможность применять для приготовления смесей порошковые отходы промышленного производства, которые должны отвечать требованиям ГОСТ 9128-97.

ГОСТ 26644-85 (изменение № 1 от 2000 г.) устанавливает требования к щебню и песку, образующимся при сжигании углей

на тепловых электростанциях. Их применяют в качестве заполнителей для тяжелых и легких бетонов сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений. Стандарт не распространяется на бетон для дорожных покрытий. Нормируются:

- ✧ зерновой состав;
- ✧ насыпная плотность;
- ✧ химический состав (потеря массы при прокаливании, содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3, содержание свободного кальция).

Щебень должен обладать стойкостью против силикатного и железистого распадов.

4. ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛ И ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Отходы от сжигания твердого топлива на ТЭС широко используются при строительстве автомобильных дорог как в России, так и за рубежом. Ниже приведены следующие области их применения:

золы сухого отбора

- ✧ медленно гвердеющее самостоятельное вяжущее для устройства оснований дорожных одежд из укрепленных грунтов и каменных материалов;
- ✧ активная гидравлическая добавка в сочетании с неорганическими вяжущими (цементом или известью) для устройства оснований;
- ✧ активная гидравлическая добавка в сочетании с битумными или полимерно-битумными вяжущими;
- ✧ составная часть минерального порошка или для его замены при приготовлении асфальтобетонной смеси;
- ✧ добавка взамен части цемента и заполнителя при приготовлении тяжелого бетона и раствора;

отвальные золошлаковые смеси гидроудаления

- ✧ техногенный грунт для сооружения дорожных насыпей;

- ✧ материал, укрепленный цементом или другими вяжущими, для устройства оснований и дополнительных слоев дорожных одежд;
- ✧ малоактивная гидравлическая добавка к извести при приготовлении золоизвестковых вяжущих для укрепления грунтов и каменных материалов;
- ✧ взамен минерального порошка и частично песка при приготовлении асфальтобетона;
- ✧ заполнитель при приготовлении тяжелого песчаного бетона.

При применении зол и золошлаковых смесей достигается следующая экономия цемента:

- ✧ при использовании активных зол уноса сухого отбора в качестве самостоятельного медленно твердеющего вяжущего – 100%;
- ✧ при использовании малоактивных зол уноса сухого отбора в качестве добавок к цементу – до 50%;
- ✧ при укреплении цементом золошлаковых смесей гидроудаления (вместо естественных песчаных грунтов или в качестве добавок к ним) – 20-30%.

4.1. Применение зол сухого улавливания в качестве самостоятельного медленно твердеющего вяжущего материала или гидравлической добавки к цементу или извести

Большая эффективность применения сухих зол в качестве самостоятельного вяжущего наблюдается при укреплении гравийно-песчаных и песчаных грунтов, а также супесей.

Комплексными вяжущими с активными компонентами в виде золы укрепляются песчано-щебенистые грунты, получаемые при дроблении малопрочных известняковых и песчанистых (либо других) пород, дресва изверженных и метаморфических пород, отходы камнедробления или крупнообломочные отходы промышленных предприятий. Исследовалось укрепление связных грунтов (суглинков и глин с числом пластичности до 21) золой с добавками химических веществ либо как компонента комплексного вяжущего.

Как было показано выше (см. разд. 2) активность сухих зол определяется их дисперсностью и химико-минералогиче-

ским составом. Гидравлическая активность зол обусловлена наличием свободной CaO, определяющей высокое значение pH их водных вытяжек (отношение золы к воде 1:10). Как показали исследования [14], образцы золы горючих сланцев Эстонии, содержащие 6,3% свободной CaO, имели прочность при сжатии в возрасте 28 сут – 7,2 МПа, в 90 сут – 9,8 МПа, 180 сут – 12,3 МПа, к году – 13,6 МПа. Ангренская зола бурых углей, содержащая 3,3% свободной CaO, в возрасте 28 сут имела прочность 18,7 МПа, к году – 96,7 МПа.

В табл. 9 приведены результаты определения активности зол Канско-Ачинских бурых углей [11]. Активность этих зол устанавливали испытанием образцов, твердевших в нормальных условиях в течение 7, 28 и 90 сут. Образцы-цилиндры диаметром и высотой 5 см изготавливали из золы, увлажненной до оптимальной влажности, путем прессования под нагрузкой 150 кгс/см^2 в течение 3 мин.

Таблица 9

Прочность при сжатии образцов из зол сухого улавливания Канско-Ачинских углей

Наименование ТЭС	Содержание свободной CaO+MgO, %	Прочность при сжатии образцов, МПа, в возрасте, сут		
		7	28	90
Красноярская ТЭЦ-1	8,0	0,34	1,05	1,81
Красноярская ТЭЦ-2	9,2	1,88	5,27	9,90
Иркутская ТЭЦ-6 (ЭФ)	9,1	4,27	8,04	10,83
Иркутская ТЭЦ-6 (БЦУ)	11,6	1,25	1,98	2,08
Усть-Илимская ТЭЦ	5,0	0,56	0,89	2,17
Канская ТЭЦ (БЦУ)	9,6	2,17	2,63	6,07
Новосибирская ТЭЦ-3	9,0	17,78	22,30	31,62
Назаровская ГРЭС	5,9	3,28	8,26	12,31

В табл. 10 приведены результаты укрепления мелкого песка различными золами сухого улавливания, содержащими 5-20%

свободной CaO. По классификации, приведенной в п. 2.2, эти золы относятся к активным.

Таблица 10

Кинетика твердения мелкого песка, укрепленного золами сухого улавливания

Вид топлива	Содержание золы в смеси, %	Прочность при сжатии водонасыщенных образцов, МПа, в возрасте, сут				
		28	90	120	180	360
Прибалтийские горючие сланцы	10	0,4	1,2	2,1	3,2	4,0
	15	1,6	3,0	6,5	7,6	9,2
	20	3,3	5,9	7,8	8,9	10,4
Горючие сланцы Поволжья	15	1,6	1,8	1,8	2,0	2,5
	20	1,8	2,2	2,4	2,6	2,8
	25	2,5	3,0	3,7	3,9	4,5
Бурый уголь Ангренского бассейна	10	0,4	0,6	0,8	0,9	1,3
	15	0,7	1,2	1,2	1,3	1,8
	20	0,8	1,2	1,6	1,9	3,0
	25	2,9	4,1	4,4	4,6	5,0
Бурый уголь Ирма-Бородинского разреза	10	0,7	2,6	3,5	4,3	5,8
	15	1,1	3,5	4,3	5,8	6,9
	20	2,3	4,7	5,8	6,3	8,8
Бурый уголь Назаровского разреза	15	0,3	0,7	0,9	1,1	1,3
	20	0,5	1,1	1,3	1,8	2,0
	25	0,8	1,7	1,9	2,3	2,6

Из табл. 10 видно, что наиболее активно увеличивается прочность в интервале 90-180 сут, но не наблюдается прямой пропорциональной зависимости этого процесса от содержания свободной окиси кальция. Определение прочности образцов в водонасыщенном состоянии показало, что эти золы сухого улавливания являются эффективным самостоятельным медленно твердеющим минеральным вяжущим.

В табл. 11 даны результаты укрепления мелкого песка неактивными золами от сжигания экибастузского каменного угля и донецкого антрацита. Эти золы не содержат свободной окиси кальция. Использование таких зол в качестве добавки к цементу обеспечивает существенную экономию последнего. Введение в смесь 10% золы от сжигания экибастузского каменного угля позволило уменьшить количество цемента на 40% и получить образцы в 90-суточном возрасте с такой же прочностью, как и при укреплении песка одним цементом. При добавлении 20% золы расход цемента можно уменьшить в 2 раза.

Таблица 11

Прочность при сжатии водонасыщенных образцов мелкого песка, укрепленного цементом и золой сухого улавливания

Вид топлива	Состав смеси, %			Прочность при сжатии образцов, МПа, в возрасте, сут	
	песок	цемент	зола	28	90
Каменный уголь Экибастузского бассейна	94	6	–	0,8	1,4
	92	8	–	1,7	2,4
	90	10	–	2,2	3,3
	88	12	–	3,2	5,7
	84	6	10	1,5	3,4
	74	6	20	2,3	6,9
Антрацитовый уголь Донецкого бассейна	92	8	–	1,6	2,2
	90	10	–	1,3	3,3
	88	12	–	1,5	3,5
	85	6	9	2,1	4,8
	82	6	12	2,3	5,2
	79	6	15	5,3	6,7
	76	6	18	3,4	6,9

Использование в качестве добавки к цементу 10% золы от сжигания донецкого антрацитового угля позволяет сократить расход цемента в среднем на 50%.

Приведенные данные показывают, что не всегда содержание CaO влияет на скорость упрочнения и разупрочнения активных зол и не является единственной характеристикой их активности. Более того, при хранении активных зол на воздухе их активность снижается за счет процессов гидратации и карбонизации свободных CaO.

Сызранская зола горючих сланцев, содержащая 4,1% свободной CaO, в возрасте 28 сут имела прочность 10,2 МПа, в 3 мес – 17 МПа. Однако в дальнейшем наблюдается разуплотнение зольного камня и в 6 мес прочность составила 9,3 МПа, в год – 5,7 МПа. По результатам валового химического анализа установлено наличие в составе этой золы закисного железа, сульфитной серы (в виде пирита), а также гипса. Наличие трехкальциевого алюмосиликата способствует быстрому упрочнению, а окислительно-восстановительные процессы и формирование гидроалюмосиликатов кальция высокой основности при избытке гипса вызывают разупрочнение зольного камня через 3 мес и более.

Проведенными исследованиями показано, что в активных золах присутствуют силикаты, алюминаты и ферроалюминаты кальция различной основности, которые могут гидратироваться с различной скоростью. В буроугольных золах обнаружены C_3S, Ca_2S и C_3A, что позволяет проводить аналогию между процессами структурообразования в зологрунтовых и цементогрунтовых смесях на определенных стадиях их твердения.

В сухой золе нормируются содержание свободной окиси кальция, сернистых и сернокислых соединений, количество несгоревших частиц и степень дисперсности. Было установлено [13] что при содержании в золе свободной извести в количестве 15% и более наблюдается снижение морозостойкости укрепленных песчаных грунтов. Объясняется это возникновением и развитием при твердении золы гидросульфоалюминатных кальциевых структур, которые создают защитные пленки на частицах вяжущего и выступают как замедлители схватывания. Высокое содержание свободной окиси кальция создает условия для пересыщения, при

котором кристаллизация гидросульфоалюмината сопровождается большим кристаллизационным давлением, что снижает прочность образующихся структур. Кроме того, в результате гидратации и карбонизации образуется карбонат кальция, который не морозостоек.

Для получения требуемой морозостойкости при применении зол с содержанием свободной извести выше 15% необходимо вводить химические добавки. Установлено [12], что введение 3-5% (массы золы) хлористого кальция значительно увеличивает морозостойкость укрепленного песчаного грунта как в ранние сроки твердения (28 сут), так и в более поздние (до 1 года) сроки хранения образцов. В растворах хлористого кальция резко ускоряются реакции образования гидросульфоалюмината и кинетика нарастания прочности. Ускоряются также процессы твердения других силикатов кальция.

Другой важной характеристикой гидравлической активности сухих зол является наличие минералов, близких по составу к клинкерным минералам портландцемента, – CaO, MgO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O, Na_2O (см. табл. 2). Активность зол и процессы упрочнения зологрунтов зависят и от формы окислов – свободные, закисные, связанные в силикаты с различной основностью.

Рассчитанные гидравлические модули активных зол свидетельствуют о сближении их гидравлической активности с глиноземистым цементом, а значения кремнеземистого и глиноземистого модулей – с их величинами для портландцемента.

Вместе с тем валовой химический анализ установил насыщенность активных и (тем более) неактивных сухих зол окисью кальция по сравнению с цементами. Это позволяет активизировать золы добавлением извести в виде CaO или $Ca(OH)_2$ и цемента к неактивным золам и кальциевых электролитов и других веществ – к активным.

Проведенные исследования и практика строительства показали, что для укрепления песчаных грунтов эффективно цементозольное вяжущее, а суглинистых грунтов – известковозольное.

Так, песок, укрепленный 4-8% (массы смеси) сланцевой золы уноса, применялся для устройства обочин [44]

Зола уноса Владимирской ТЭЦ [46], примененная в качестве компонента вяжущего при укреплении грунтов, позволяет снизить расход цемента на 20% и обеспечить требуемые физико-механические свойства укрепленного грунта. В работе [51] описан опыт применения зол уноса Владимирской ТЭЦ при укреплении малопрочных известняков. На строительстве автомобильной дороги Ладога–Лунево слой известнякового щебня, укрепленный негашеной известью и золой уноса, укладывали на песчаное основание. Поверх укрепленного грунта устраивали двойную поверхностную обработку.

Хорошие результаты получены и при укреплении известнякового щебня цементом с добавкой золы уноса.

По эффективности укрепления зольными вяжущими грунты располагаются в следующем порядке [55]:

- ✧ тяжелые суглинки (Ч.п.=12÷17);
- ✧ легкие суглинки (Ч.п.=7÷12);
- ✧ супеси (Ч.п.=1÷7);
- ✧ пески, глины (Ч.п.=17÷25).

Для повышения морозостойкости и прочности грунтов, укрепленных золой уноса, вводят добавки-активаторы – хлористый кальций и каустическую соду.

Имеется опыт применения зол уноса в бетонных смесях для устройства цементобетонных покрытий в условиях Сибири [75], что позволяет

- ✧ улучшить связанность бетонной смеси;
- ✧ снизить расход цемента на 30-40% по сравнению с обычным бетоном для получения равнопрочного по изгибу материала [39];
- ✧ улучшить трещиностойкость бетона.

Укатанный бетон с добавками золы уноса до 30% обладает достаточно высокой стойкостью к шелушению.

Зола в бетоне выполняет роль активной минеральной добавки, а также микронаполнителя, улучшающего структурообразующие свойства смеси [56]. При введении золы в оптимальном количестве водопотребность бетонной смеси практически не изменяется.

Зола в растворах и бетонах [40] используется:

- ✧ как добавка в обычный и гидротехнический бетоны, выступая в качестве заполнителя цемента и песка или взамен части цемента;
- ✧ при производстве пористого заполнителя (зольного гравия);
- ✧ как добавка в цементные растворы для нагнетания при ремонтных работах;
- ✧ в качестве гидравлической добавки при производстве цемента;
- ✧ как добавка при производстве кирпича.

4.2. Применение зол сухого улавливания в качестве добавки к битумным или полимерно-битумным вяжущим

Исследования и опыт строительства [16] показали, что грунт, укрепленный зольно-битумным вяжущим, можно использовать в качестве слоев оснований под покрытия капитального типа или покрытий на дорогах III–V категорий во II–III дорожно-климатических зонах. Для обработки применяют: песчано-гравийные смеси, пески различного зернового состава, в том числе однородные, и супеси, в том числе пылеватые.

В качестве органических вяжущих используют битумные пасты (на известковом эмульгаторе) и сырые нефти, в том числе высокосмолистые.

В зависимости от требуемой прочности и назначения укрепленного грунта в конструкции дорожной одежды рекомендуются следующие дозировки вяжущих материалов (по массе грунта):

- ✧ зола уноса – не менее 15%;
- ✧ известково-битумная паста – 4-5% (в пересчете на битум);
- ✧ нефть – 4-6%.

Приготовление укрепленного грунта осуществляется по традиционной технологии: либо в стационарных условиях, либо на месте производства работ с применением грунтосмесительных машин. Уход за готовым слоем укрепленного грунта производят розливом битумной эмульсии: 0,8-1 л на 1 м^2 поверхности укрепленного материала.

Сухие сланцевые золы применяли для приготовления битумоминеральных смесей при строительстве дорожных покрытий и оснований [17]. В состав смесей входили щебень из природного камня или гравия, гравий и песчано-гравийные смеси. Кроме то-

го, можно включать природный, дробленый, а также шлаковый пески. Допускается использовать отсевы продуктов дробления горных пород и гравия, а в качестве вяжущего материала – жидкие нефтяные битумы.

Рекомендуемое содержание сланцевой смолы в зависимости от способа приготовления смеси и ее использования в дорожной одежде составляет 5-12% массы минеральной части смеси.

Получаемые смеси, содержащие сланцевую золу, можно использовать непосредственно после приготовления (теплые смеси) или после хранения в штабелях (складируемые смеси).

Теплые смеси в зависимости от величины водонасыщения подразделяют на плотные (1-3%) и пористые (3-8%). Водонасыщение складируемых смесей – 3-8%.

Исследованиями [34] было установлено, что при укреплении щебеночных и песчаных смесей золой сухого улавливания (10-20% массы смеси) и гудроном (3-4% массы смеси) марки СБ повышаются водо- и морозостойкость укрепленного грунта: он отвечает требованиям 1-го класса.

Проведенные исследования [37] показали, что пески, укрепленные битумной пастой (4% эмульгированного битума от массы песка) и золой уноса (15-20%), характеризуются ускоренным формированием структуры, повышенными плотностью, прочностью и морозостойкостью. Уже в возрасте 28 сут песок, укрепленный зольно-битумным вяжущим, имел прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии 50 кгс/см^2, после 25 циклов замораживания-оттаивания – 20-30 кгс/см^2. Увеличилась деформативная способность, особенно при отрицательных температурах.

Глинистый грунт, укрепленный зольно-битумным вяжущим, имеет низкие водонасыщение и набухание.

Введение битумных вяжущих в зологрунты позволяет:

- ✧ оптимизировать процессы твердения последних во времени;
- ✧ использовать золы с различным содержанием свободной CaO;
- ✧ снижать расход золы на 10% (массы грунта);
- ✧ расширять номенклатуру укрепляемых грунтов за счет использования суглинков и глин.

Работами [67] установлена эффективность добавки сланцевой золы (2-4,5 % массы смеси) в сочетании с ФПС (фосфополу-

гидрат сульфата кальция) для укрепления грунтов. Применение этого комплексного вяжущего позволяет уже после 28 сут твердения получить материал, отвечающий требованиям 1 класса прочности.

4.3. Применение золошлаковых смесей для устройства земляного полотна

Золошлаковые материалы, которые согласно ГОСТ 25100-95 являются техногенными грунтами, можно использовать для возведения земляного полотна автомобильных дорог. Однако необходимо учитывать, что некоторые свойства этого материала (неоднородность состава, способность к набуханию и морозному пучению, наличие несгоревших частиц топлива) могут оказать негативное влияние на его долговременную безаварийную работу. Поэтому следует разработать специальные конструктивные и технологические мероприятия, чтобы исключить (или по крайней мере смягчить) такое воздействие.

Золошлаковые смеси из отвалов ТЭС впервые применены для возведения земляного полотна при строительстве подъездных дорог в районе городов Тверь, Воркута и др. [24]. Методы и технология использования золошлаковых смесей для сооружения земляного полотна автомобильных дорог исследовались в Союздорнии, Гипродорнии, научных центрах Белоруссии, Украины, Казахстана, Узбекистана. За основной критерий пригодности золошлаковых смесей в качестве материала для возведения земляного полотна была принята их морозостойкость (степень пучинистости), устанавливаемая по величине относительного морозного пучения [23]. Наиболее однородными (и пригодными) признаны каменноугольные золошлаковые смеси. Установлено, что величина относительного морозного пучения торфяных, буроугольных золошлаковых смесей и золы уноса составляет 3,4-7,4%, каменноугольных – 1,5-3%. Кроме того, золошлаковые смеси обладают хорошей способностью к уплотнению.

Работы, проведенные при строительстве автомобильных дорог МКАД–Кашира, Москва–Серпухов, Алтай–Кузбасс и др., показали, что золошлаковые смеси, укладываемые в насыпь ниже рабочего слоя земляного полотна, должны быть максимально

защищены от переувлажнения. С этой целью необходимо проведение следующих мероприятий [22]:

- ✧ крутизна откосов должна быть не менее 1:1,75 при высоте насыпи до 6 м; при большей высоте откосы нижней части насыпи (ниже 6 м) должны быть не круче 1:2, а верхней (выше 6 м) – не круче 1:1,75;
- ✧ поверхность откоса следует защищать растительным грунтом толщиной не менее 0,3-0,4 м;
- ✧ золошлаковую смесь необходимо укладывать на слой из не дренирующего глинистого грунта, который должен играть роль капилляропрерывающего слоя и предохранять насыпь из золошлаковой смеси от увлажнения снизу;
- ✧ при устройстве насыпи на участках с 3-м типом местности по условиям увлажнения в нижней ее части должны быть устроены бермы из глинистых водостойких грунтов шириной не менее 1 м для предотвращения подтопления слоя золошлаковой смеси долговременно стоящими водами.

Особое внимание следует уделять послойному уплотнению золошлаковой смеси с соблюдением режима влажности в зависимости от погодных условий. Влажность золы при уплотнении должна быть близка к оптимальной.

При применении золошлаковых смесей в рабочем слое земляного полотна необходимо принимать меры по нейтрализации неблагоприятных свойств золы, в основном ее способности к морозному пучению. Эти мероприятия должны быть направлены на предотвращение переувлажнения золошлаковых смесей в процессе укладки и ее работы в теле насыпи и должны включать [23]:

- ✧ назначение крутизны откосов с учетом возможности механизированной планировки, уплотнения и укрепления поверхности откосов;
- ✧ укладку морозозащитных слоев в верхней части земляного полотна;
- ✧ устройство дренажа и капилляропрерывающих прослоек;
- ✧ укладку защитного слоя на поверхность откоса;
- ✧ укрепление обочин земляного полотна.

В соответствии с [21] золошлаковые смеси, обработанные вяжущими материалами, целесообразно использовать в верхней

части земляного полотна из-за их высоких теплоизоляционных свойств, позволяющих уменьшить промерзание грунтов земляного полотна.

Золошлаковые смеси, укрепленные цементом, образуют прочные водо- и морозостойкие структурные связи, обеспечивающие образование замкнутых пор [20].

Конструктивные слои из укрепленных золошлаковых смесей устраивают с целью обеспечить морозоустойчивость дорожных конструкций в условиях II—III дорожно-климатических зон на пучинистых грунтах земляного полотна дорог с покрытиями капитального, усовершенствованного или облегченного типов.

Для укрепления золошлаковых смесей используют 4-8% (массы смеси) цемента, а также жидкие битумы (1,5-2% массы золошлаковой смеси), СДБ (0,2-1%), извести (7-9%).

Для укрепления пылеватых песчаных, супесчаных и суглинистых грунтов, мелких одноразмерных песков, слагающих верхние слои земляного полотна, рекомендуется применять золы сухого улавливания в качестве самостоятельного вяжущего материала [21].

Золы уноса сухого улавливания используют для осушения верхней части земляного полотна при переувлажнении связных грунтов. Расход золы составляет 20-35% массы обрабатываемого грунта. Это позволяет в течение 3-4 сут связать лишнюю воду и приблизить влажность песка и связного грунта в верхней части земляного полотна к оптимальной для его обработки или уплотнения [11].

При введении 2% (массы грунта) золы уноса Владимирской ТЭЦ [51] во влажный грунт через 18 ч на 5% уменьшилась влажность грунта.

4.4. Применение золошлаковых смесей для устройства слоев дорожных одежд

Возможность применения золошлаковых материалов гидроудаления, укрепленных неорганическими вяжущими материалами — цементом или известью, для устройства слоев дорожных одежд изучалась с конца 70-х годов прошлого века [25 — 30]. В результате определились **два направления** использования отвальных золошлаковых смесей гидроудаления:

❶ обработка цементом или известью и применение в качестве конструктивных слоев дорожных одежд;

❷ как добавка к вяжущим в целях их экономии при укреплении грунтов.

Золошлаковые смеси, обработанные цементом или известью, проявляют в процессе твердения гидравлическую активность. Структурообразование обеспечивается взаимодействием клинкерных минералов с водой с образованием цементирующего вещества. Выделяющаяся при этом окись кальция взаимодействует с кремнеземистой и глиноземной составляющими золошлаковой смеси и способствует созданию новообразований (см. разд. 2). В результате повышаются прочность укрепленного материала в водонасыщенном состоянии и его морозостойкость. Структурообразование протекает достаточно медленно (по сравнению с грунтами, укрепленными цементом), поэтому результаты целесообразно получать не в 28-суточном возрасте, а через 90, 180 и 360 сут твердения.

Результаты обработки золошлаковых смесей цементом или известью зависят от вида золошлаковой смеси, ее химического и зернового состава. Так, золошлаковая смесь гидроудаления ТЭЦ-22 г. Москва, обработанная 8-10% цемента, использовалась в качестве основания дорожной одежды на автомобильной дороге Москва–Серпухов. Прочность при сжатии водонасыщенных образцов в возрасте 90 сут составляла 40-70 кгс/см^2 [25], образцы золошлаковой смеси Барабинской ГРЭС (каменный уголь Кузнецкого угольного бассейна) – 30-50 кгс/см^2 и золошлаковой смеси от сжигания бурого угля Ступинской ТЭЦ – 12-20 кгс/см^2 [31].

Исследования показали, что в состав смеси целесообразно вводить небольшие добавки (10-15% массы золошлаковой смеси) песка средней крупности. Так прочность образцов золошлаковой смеси Ступинской ТЭЦ в водонасыщенном состоянии при добавке к золе 6% цемента и 10% песка увеличилась до 55-65 кгс/см^2 [32].

Введение в цемент известковых отходов (содержание свободной CaO – 57%) в количестве 5-7% (массы смеси) значительно повышает морозостойкость материала [26]. После 25 циклов замораживания (при минус 20°С) и оттаивания образцы смеси, содержащие 87% золошлаковой смеси гидроудаления Игумнов-

ской ТЭЦ (Кузнецкого угольного бассейна), 6% цемента и 7% известковых отходов, характеризовались в возрасте 90 сут пределом прочности при сжатии 70 кгс/см^2.

Применение золошлаковых смесей гидроудаления в укрепляемых цементом песчаных грунтах и гравийно-песчаных смесях позволяет снизить расход вяжущего на 30% [27].

Для повышения морозостойкости песчаных грунтов, укрепленных цементом с добавками золошлаковых смесей гидроудаления, целесообразно использовать добавки хлористого кальция или пластифицирующие добавки типа СДБ. Введение 1-3% (массы золы) хлористого кальция позволяет активизировать структурообразование укрепленного грунта и получать материал, отвечающий требованиям I и II классов прочности. Кроме того, это дает возможность обрабатывать грунт при пониженных положительных и отрицательных (до минус 15°С) температурах воздуха.

При введении в золошлаковую смесь 2% СДБ (массы золы) прочность и морозостойкость песчаного грунта, укрепленного цементом, увеличивается в 1,5-2 раза.

Работами [42] показано, что измельчение золошлаковой смеси (до 1000 см^2/г) и введение активаторов позволяют для глинистых грунтов с числом пластичности 22 получать прочность в водонасыщенном состоянии в возрасте 90 сут, равную 34,8 кгс/см^2. Коэффициент морозостойкости после 25 циклов замораживания-оттаивания был выше 1. Оптимальный состав следующий: 67% грунта, 30% молотого топливного золошлака, 3% активатора.

Золошлаковые смеси гидроудаления с добавками извести нашли применение в дорожном строительстве Украины и Казахстана [28, 29]. Действие золоизвесткового вяжущего основано на скрытой активности отвальных золошлаковых смесей, проявляющейся при взаимодействии с активным минеральным вяжущим. Золоизвестковое вяжущее готовят либо путем совместного помола золошлаковой смеси с комовой негашеной известью, либо ее перемешивания с известью-пушонкой или молотой негашеной известью в установках принудительного действия [33]. Добавка извести должна составлять 15-25% массы получаемого вяжущего.

В Удмуртии [45] золошлаковые смеси, укрепленные цементом и известью, имели в 28- суточном возрасте прочность

при сжатии 20-30 кгс/см^2, марку по морозостойкости – 15, а в 360 сут – в 2-4 раза больше.

В Казахстане построено около 300 км автомобильных дорог с использованием золоизвесткового вяжущего. Укреплению подвергали гравийно-песчаную смесь, вводя в нее 20% вяжущего.

Исследованиями [35, 36] было установлено, что в условиях сухого и жаркого климата эффективно использовать золошлаковые смеси с добавками органических материалов – хлопкового гудрона. В этом случае создаются наилучшие условия для сохранения оптимальной влажности смеси и режима твердения для укрепленного грунта.

Исследования [38] показали, что обработка каменноугольных и буроугольных золошлаковых смесей жидким битумом позволяет значительно уменьшить значение коэффициента теплопроводности по сравнению с золошлаковыми смесями, обработанными цементом.

4.5. Применение зол и золошлаковых смесей в асфальтобетоне

ГОСТ 9128-97 [19] допускает использование в качестве минеральных порошков для пористого и высокопористого асфальтобетонов, а также плотного золы уноса и золошлаковые смеси. Для таких материалов нормируются:

- ✧ зерновой состав;
- ✧ пористость;
- ✧ битумоемкость;
- ✧ потери при прокаливании;
- ✧ содержание окисей кальция и магния, водорастворимых соединений.

Исследованиями [50] показана целесообразность применения зол ТЭЦ городов Чита, Краснокаменск, Петровск-Забайкальск в качестве минеральных порошков для приготовления асфальтобетона.

Работами [68, 69] установлена возможность применения зол и золошлаковых смесей Владимирской ТЭЦ в качестве заполнителя.

Обоснована [72] эффективность использования зол уноса и сланцевых фусов как минерального порошка при приготовлении

асфальтобетонных смесей для устройства покрытий автомобильных дорог и аэродромов.

Имеется опыт применения в дорожных асфальтобетонах материалов из отвалов золошлаковых смесей и отходов производства органических полимеров [76].

В работе [18] показано, что введение зол и золошлаковых смесей от сжигания каменных и бурых углей, торфов в качестве минерального порошка для приготовления асфальтобетонных смесей позволяет получать материал с нормативными физико-химическими характеристиками. Более высокие показатели свойств асфальтобетонных смесей получали при активации или домоле зол.

Активация золошлаковой смеси производилась следующим образом [53]. ЗШС помещали в сушильно-обжиговую камеру для обработки при температуре 600-800°С. Затем материал поступал в смеситель, где обрабатывался гидрофобизирующим газом, который получали в генераторе путем нагрева гидрофобизирующего материала до температуры 200-250°С. В качестве гидрофобизаторов использовали топочный мазут, вязкий битум марки БНД 90/130, битум с добавками соответственно таллового масла и жирового гудрона. Расход гидрофобизатора составлял 0,15-0,3% по массе адсорбента.

Лучшие показатели гидрофобности золошлака были получены при обработке газовой смесью битума БНД 90/130 и жирового гудрона в соотношении 1:1. Уменьшились пористость (с 51 до 45% по объему) и битумоемкость (с 120 до 84 г), увеличилась удельная поверхность (с 3310 до 3670 $см^2/г$). Кроме того, золошлак приобрел устойчивую, необратимую гидрофобность.

Домол золошлаковых материалов совместно с добавкой кварцевого песка улучшает качество смеси [54]. Битумоемкость порошка, полученного в результате помола ЗШС с добавкой 5% кварцевого песка (массы ЗШС), составила 81,7 г (битумоемкость молотой золы без добавки песка – 117 г).

Работами [80] показана эффективность применения золошлаковых материалов в асфальтобетоне для повышения и его противогололедных свойств.

4.6. Применение золошлаковых смесей в цементобетоне

Работами [39] было показано, что отвальные золошлаковые смеси можно использовать в качестве однокомпонентного заполнителя в мелкозернистых бетонах (без природного песка и крупного заполнителя), а также в различных бетонах в сочетании с природными или искусственными заполнителями.

Содержание в золошлаковой смеси зерен мельче 0,315 мм должно составлять 20-50% по массе. Расход цемента повышается на 10-20% по сравнению с бетонными смесями традиционного состава.

Мелкозернистый бетон на заполнителе из золошлаковой смеси обладает прочностью 50-500 кгс/см^2, морозостойкостью 15-150 циклов, теплопроводностью 0,87-0,93 Вт/(м·°С).

Установлено [43], что применение золошлаковых смесей при производстве бетонных и железобетонных изделий позволяет экономить до 30% цемента.

Добавки отвальных золошлаковых смесей Курской ТЭЦ-1 [48] в бетонные смеси позволяют экономить до 15% цемента, а при сульфатной активации золошлаков – до 30%.

Применение золошлаковых материалов Бурштынской ГРЭС (от сжигания каменных углей Львовско-Волынского бассейна) [47] позволило заменить в бетонах для производства дорожных плит, дорожного и газонного бордюра, тротуарной плитки и других изделий до 40% мелкозернистого природного песка.

Использование зол и шлаков от сжигания бурого угля дало возможность сократить до 20% песка и уменьшить расход цемента на Владимирском ЖБК [49].

Разновидностью мелкозернистых бетонов на золошлаковых смесях являются бетоны на золопесчаном заполнителе. Их получают введением в тощие цементопесчаные смеси золы ТЭС, которая выполняет функции микронаполнителя и пуццолановой добавки. Она заполняет пустоты между песчинками, увеличивает содержание теста вяжущего и объемную концентрацию твердой фазы в бетонной смеси.

Оптимальные составы золопесчаных бетонов достигаются при соотношении компонентов (по массе) цемент:зола:песок = (1: 0,2: 3,8) – (1: 0,8: 5,4). Введение золы на 20-50% увеличивает прочность песчаных бетонов.

При приготовлении тяжелого бетона золошлаковая смесь может частично или полностью заменить песок. Целесообразно вводить золошлаковую смесь вместо мелкозернистого песка, требующего повышенного расхода цемента. Золошлаковая смесь улучшает зерновой состав и укладываемость бетонной смеси при экономии дорогостоящих заполнителей, а в отдельных случаях и цемента.

Работами [62] было обосновано использование высушенной золошлаковой смеси в качестве компонента золокарбонатоцементного вяжущего для производства сухих смесей. Такое комплексное вяжущее позволяет экономить до 30-50% цемента в зависимости от марки бетона.

Золошлаковые смеси нашли применение в виде пористых зольных заполнителей в керамзитобетоне, в бетонах на глиноземном керамзите, на зольном аглопоритовом гравии, на безобжиговом зольном гравии.

4.7. Зарубежный опыт применения зол и золошлаковых смесей в дорожном строительстве

Ведущее место среди стран Западной Европы в решении проблемы использования топливных отходов ТЭС в дорожном строительстве занимает **Франция** [57]. Золы уноса используются во всех элементах дорожных конструкций. В зависимости от их состава и свойств они могут входить в тело насыпи как техногенный грунт; как минеральный материал, укрепленный гидравлическим вяжущим, в нижних слоях основания; в верхних слоях основания как компонент смешанного вяжущего или в качестве самостоятельного вяжущего; в асфальтобетонных покрытиях как минеральный порошок, в цементобетонных – как добавка, улучшающая состав бетона.

Влажные золы уноса применяют для возведения насыпей, если невозможно заложить резервы или карьеры из естественных грунтов, а также при их неудовлетворительном качестве. Золы укладывают слоями по 40-50 см с уплотнением, откосы укрепляют дерном.

В нижних слоях оснований широко применяют смеси зол уноса с известью и гипсом, в верхних – дробленую гравийно-пес-

чаную смесь, укрепленную зольно-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 на ходятся 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/м^2 катионной битумной эмульсии и распределяют 0,5-6 л/м^2 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).

В укатываемом бетоне для обеспечения наибольшей его плотности используют золу уноса, отходы горнодобывающей промышленности, известняки и др. [73].

В Англии зола уноса от сжигания каменного угля была применена в начале 60-х годов как материал для возведения насыпей. Исследования показали, что зола уноса является материалом, пригодным для сооружения насыпей и устройства нижних слоев основания дорожной одежды, которые должны находиться на глубине не менее 40 см от поверхности покрытия в связи с их недостаточной морозоустойчивостью. Аналогичные исследования золошлаковых смесей из отвалов тепловых электростанций доказали их пригодность для сооружения насыпей и устройства оснований дорожных одежд. Из этого материала были отсыпаны две насыпи при реконструкции дороги А1, в которые уложено около 172800 м^3 золошлаковой смеси [58]. Рекомендовано не сооружать насыпи из мелкого и влажного материала.

Золу уноса использовали в жестком укатываемом бетоне для устройства дорожных одежд, а также для укрепления подстилающих слоев [66]. Образцы бетона с добавкой 42% (массы вяжущего) золы в возрасте 28 сут показали большую прочность, чем обычного.

Несколько насыпей из золошлаковых смесей построено в **Венгрии** [59]: одна высотой 2-3 м, объемом 4000 м^3, вторая – соответственно 1,7 м и 22744 м^3, третья – 1,5 м и 2700 м^3. Чрезвычайно неблагоприятная погода (за 8 дней выпало 400 мм осадков в виде дождя) не помешала строительству благодаря хорошей дренирующей способности смесей. Кроме того, в 1986 г. с применением золы было уложено около 2 млн м^2 дорожных покрытий [65].

Исследования, проведенные в **США**, показали, что золы можно использовать для гидротехнических насыпных сооружений [60]. Опыты на свежеуложенных образцах по определению сопротивляемости сдвигу показали, что зола уноса имеет некоторое сцепление при увлажнении вследствие поверхностного натяжения в поровой воде.

Отмечается, что если процесс консолидации в лабораторных условиях длится считанные минуты, то осадка насыпи из такого материала происходит на протяжении всего строительного периода.

В **Польше** проведены исследования и опытные работы по укреплению золы уноса как самостоятельным вяжущим не только песков, но и глинистых грунтов [61]. Получены положительные результаты при устройстве однослойного основания из глины, укрепленной 8% золы уноса, и двухслойного основания с нижним слоем из пылеватых лессовых суглинков, укрепленных 8-12% золы уноса, и верхним слоем из того же грунта, укрепленного 6% золы уноса и таким же количеством портландцемента. Установлено, что грунты (пылеватые пески, глины, суглинки), укрепленные 5-15% золы уноса, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к грунтам, укрепленным цементом или известью. Однако нарастание прочности протекает медленней. Морозостойкость укрепленных грунтов в 42-суточном возрасте в большинстве случаев достигает значений, получаемых при укреплении аналогичных грунтов цементом в возрасте 28 сут.

В **Японии** в используемый для дорожного строительства смешанный шлак сталеплавильного производства добавляют до 5% (массы смеси) золы уноса [63].

В **Италии** [64] зола от сжигания угля применяется как естественный заполнитель и вяжущее в конструкциях дорожных одежд.

В **Китае** при сооружении автомобильной дороги в качестве несущего слоя использовали смесь извести с каменноугольной золой [70] в оптимальном соотношении компонентов известь : зола = 1:4. При содержании извести 12% прочность образцов на 56-е сутки составила 33,2 кгс/см^2. На скоростной магистрали Nanjinq-Yanchenq в качестве основания дорожных покрытий применяли грунт, укрепленный комплексным вяжущим — цементом, известью и золой уноса [74].

В **Финляндии** каменноугольная зола уноса эффективно используется в асфальтобетонных смесях в качестве добавки к известковым наполнителям [71]. С ее помощью были укреплены болотистые грунты на одном из участков дороги [79].

В **Индии** зола уноса применяется для укрепления грунтов насыпи и для устройства покрытия [77]. Имеются проекты по ее использованию для строительства двухэтажных зданий. Целесообразным оказалась засыпка золой мокрых низин с последующим продуктивным использованием земель.

В **США** осуществлено укрепление золой уноса грунта под основание дорожной одежды на глубину 15 см [78].

В **Бельгии** золы уноса используются как активная добавка в пуццолановые бетоны и в качестве компонента вяжущего для укрепления песка [81].

5. ОСНОВНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЗОЛ И ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. Госстрой СССР. 1986 г.

СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. Госстрой России. 2000г.

ГОСТ 25818-91. Золы уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.

ГОСТ 25592-91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.

ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.

ГОСТ 30491-97. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.

ГОСТ 26644-85. Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия.

ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация.

ГОСТ 9128-97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон.

Нормы на изыскания дорожно-строительных материалов, проектирование и разработку притрассовых карьеров для автодорожного строительства ВСН 182-91. Минтрансстрой. – М. 1992

Технические указания по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов твердого топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог ВСН 185-75. Минтрансстрой. – М. 1976.

Технические условия по укреплению гравийных материалов золой сухого улавливания для устройства дорожных одежд в условиях сухого и жаркого климата ВСН 13-85. Минавтодор УзССР. – М., 1986.

Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов. – Союздорнии. М., 1974.

Методические рекомендации по устройству оснований и покрытий автомобильных дорог из грунтов, укрепленных зольно-битумными и полимерно-битумными вяжущими. – Союздорнии. М., 1974.

Рекомендации по применению активных зол уноса ТЭЦ РСФСР в качестве вяжущих для укрепления грунтов в основаниях дорожных одежд. Гипродорнии. – М., 1974.

Методические рекомендации по использованию золошлаковых смесей ТЭС для устройства укрепленных оснований и морозозащитных дорожных одежд. – Союздорнии. М., 1977.

Методические рекомендации по укреплению грунтов и отходов промышленности вяжущими для устройства верхней части земляного полотна автомобильных дорог. – Союздорнии. М., 1979.

Методические рекомендации по приготовлению местных шлаковых вяжущих для дорожного строительства. – Союздорнии. М., 1980.

Методические рекомендации по использованию золошлаковых материалов для устройства оснований автомобильных дорог. – Союздорнии. М.,1981.

Методические рекомендации по устройству щебеночных оснований, обработанных пескоцементной смесью. – Союздорнии. М.,1985.

Методические рекомендации по определению экономически рациональной области использования отходов ТЭС и ГРЭС в дорожном строительстве. – Союздорнии. М., 1987.

Методические рекомендации по использованию зол уноса от сжигания углей Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса для осушения верхней части земляного полотна и устройства оснований и морозозащитных слоев дорожных одежд. – Союздорнии. М., 1988.

Методические рекомендации по разработке выемок в глинистых грунтах влажностью выше оптимальной и использованию этих грунтов для возведения насыпей автомобильных дорог во II и III дорожно-климатических зонах. – Союздорнии. М., 1988.

Методические рекомендации по устройству дорожных одежд из грунтов и материалов, обработанных сланцевыми золами уноса в зимних условиях. – Союздорнии. М., 1989.

Методические рекомендации по технологии сооружения земляного полотна из глинистых грунтов повышенной влажности в Нечерноземной зоне РСФСР. – Союздорнии. М., 1990.

Методические рекомендации по применению в дорожном строительстве битумоминеральных смесей, содержащих сланцевую золу сухого отбора. – Союздорнии. М., 1990.

Руководство по подбору и приготовлению нерудных материалов и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими для дорожного строительства. – Союздорнии. М., 1991.

Руководство по строительству оснований и покрытий автомобильных дорог из щебеночных и гравийных материалов. – Союздорнии. М., 1999.

6. ЛИТЕРАТУРА

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

2. Попов Н.А. Вяжущее вещество. Заполнители. – Строительная индустрия, 1934.

3. Иванов Н.А. Легкие бетоны на основе зол электростанций. – М., Стройиздат, 1972.

4. Книгина Г.Н., Балахнин М.В. Микрокалометрическая классификация зол ТЭС./Известия ВУЗов. – Строительство и архитектура, №4. М., 1976.

5. Галибина Е.А. Классификация пылевидных зол в зависимости от вещественного состава, обеспечивающего их рациональное направление использования для производства строительных материалов. – В кн.: Исследования по строительству. Строительная теплофизика. Долговечность конструкций. НИИ строительства Госстроя ЭССР. Таллин-Вулгас, 1981.

6. Волженский А.В. и др. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. – М., Стройиздат, 1969.

7. Волженский А.В. и др. Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства). – М., Стройиздат, 1979.

8. Волженский А.В. и др. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. – М., Стройиздат, 1984.

9. Состав и свойства золы и шлака. Справочное пособие./Под ред. В.А. Мелентьева. – Л., Энергоиздат, 1985.

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

11. Методические рекомендации по использованию зол уноса Канско-Ачинских углей для осушения и укрепления грунтов земляного полотна и устройства оснований и морозозащитных слоев дорожных одежд. – Союздорнии. М., 1986.

12. Безрук В.М. Основные принципы укрепления грунтов золами уноса, применяемыми как самостоятельное вяжущее или с добавками других веществ. – В сб.: Труды Союздорнии, вып. 82. М., 1975.

13. Гурячков И.Л. Исследования по уточнению требований к золам уноса, применяемым в качестве самостоятельного вяжущего при укреплении несвязных грунтов.– В сб.: Труды Союздорнии, вып.82. М., 1975.

14. Гончарова Л.В., Баранова В.И., Панюкова М.П. Дисперсность и химико-минералогический состав зол уноса и пути их активации. – В сб.: Труды Союздорнии, вып. 82. М., 1975.

15. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. Госстрой России. – М., 1995.

16. Методические рекомендации по устройству оснований и покрытий автомобильных дорог из грунтов, укрепленных зольно-битумными и полимерно-битумными вяжущими. – Союздорнии. М., 1974.

17. Методические рекомендации по применению в дорожном строительстве битумоминеральных смесей, содержащих сланцевую золу сухого отбора. – Союздорнии. М., 1990.

18. Применение порошковых отходов промышленности в асфальтобетоне. ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – М., 1990.

19. ГОСТ 9128-97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Госстрой России. – М., 1998.

20. Методические рекомендации по использованию золошлаковых смесей ТЭСдля устройства укрепленных оснований и морозозащитных дорожных одежд. – Союздорнии. М., 1977.

21. Методические рекомендации по укреплению грунтов и отходов промышленности вяжущими для устройства верхней части земляного полотна автомобильных дорог. – Союздорнии. М., 1979.

22. Рекомендации по возведению земляного полотна автомобильной дороги МКАД–Кашира из золы гидроудаления ТЭЦ-17 на участках 2-го и 3-го типов местности по условиям увлажнения. – Союздорнии. М., 1989.

23. Технические указания по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог ВСН 185-75. Минтрансстрой. – М. 1976.

24. Кочеткова Р.Г. Техногенные грунты и их применение в дорожном строительстве. Научно-информационный сборник, №6. – Информавтодор, М., 2002.

25. Гурячков И.Л. Применение золошлаковых смесей, укрепленных вяжущими, для строительства автомобильных дорог города Москвы. – В сб.: Труды Союздорнии «Применение укрепленных грунтов при устройстве дорожных одежд с использованием отходов промышленности в качестве вяжущих и добавок химических веществ». М., 1981.

26. Маркова Э.Я. Комплексное использование отходов промышленности при устройстве дорожных одежд в нечерноземной зоне Верхнего Поволжья.– Там же.

27. Закурдаева О.А. Укрепление крупнообломочных грунтов отходами ТЭС и добавками цемента или извести для строительства дорог на Дальнем Востоке.– Там же.

28. Володько В.П. Укрепление щебеночных, гравийных и песчаных смесей известково-зольными вяжущими составами. – В сб.: Материалы VI Всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве. Вып. 7 «Применение каменных материалов и укрепленных грунтов в дорожных одеждах». Союздорнии. М., 1976.

29. Петрашевский Р.И. Комплексное использование торфяных зол в дорожном строительстве.– Там же.

30. Арутюнов В.С. и др. Новые технологии в дорожном строительстве. – Автомобильные дороги, №2. М., 2001.

31. Цветков В.С. и др. Основные направления и принципы использования зол уноса и золошлаковых смесей ТЭС СССР в дорожном строительстве. Социнновация. – М., 1990.

32. Лебедихин В.А., Сазонов В.А., Бабушкин И.М. Эффективность использования местного сырья и отходов промышленности в дорожном строительстве Казахстана.– В сб.: Труды Союздорнии «Применение каменных материалов, отходов промышленности и укрепленных грунтов в дорожных конструкциях». М., 1981.

33. Методические рекомендации по укреплению грунтов и других материалов медленно твердеющими вяжущими при пониженных положительных и отрицательных температурах. – Союздорнии. М., 1985.

34. Рекомендации по применению каменных материалов и песков Мордовской АССР, обработанных цементом, золой и гудроном, в основаниях дорожных одежд. – Союздорнии. М., 1989.

35. Дудкин А.С., Ашуров У. Исследование технологических особенностей укрепления засоленных связных грунтов золами уноса с добавками органических веществ в условиях сухого и жаркого климата. – В сб.: Труды Союздорнии «Применение укрепленных грунтов при устройстве дорожных одежд с использованием отходов промышленности в качестве вяжущих и добавок химических веществ». М., 1981.

36. Технические указания по укреплению гравийных материалов золой сухого улавливания для устройства дорожных одежд в условиях сухого и жаркого климата. ВСН 13-85 Минавтодор УзССР. – М., 1986.

37. Луканина Т.М., Фридман А.А. К вопросу расширения использования грунтов, укрепленных органическими вяжущими, для дорожных одежд. – В сб.: Материалы VI Всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве, вып. 7 «Применение каменных материалов и укрепленных грунтов в дорожных одеждах». М., 1976.

38. Агапова Р.А., Гурячков И.Л. Использование укрепленных грунтов и промышленных отходов для устройства теплоизолирую-

щих оснований и морозозащитных слоев дорожных одежд.– Там же.

39. Коршунов В.И. и др. Разработать и внедрить составы и технологию применения жестких бетонных смесей, уплотняемых укаткой, для строительства покрытий автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР. – Союздорнии. М., 1990.

40. Золошлаковые материалы и золоотвалы. – М.: Энергия, 1978.

41. Юдина Л.В., Юдин А.В. Металлургические и топливные шлаки в строительстве. – Ижевск, «Удмуртия». М. АСВ. 1995.

42. Мымрин В А. Топливные золы и шлаки гидроудаления как вяжущее для стабилизации грунтов. – В кн.: Использование отходов промышленности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР. – Владимир, 1990.

43. Гук Г.В., Бернацкий П.П. Использование золошлаков в производстве строительных материалов и изделий.– Там же.

44. Батаскин Ю.Г., Иванова Л.Б. Использование сланцевой золы и отходов камнедробления для устройства укрепленных обочин.– Там же.

45. Турчин В.В., Юдина Л.В., Гедеонов П.П., Чечулин С.П. Применение золошлаковых смесей при устройстве оснований дорожных одежд в Удмуртии.– Там же.

46. Исаева Н.В. Композиционные материалы на основе золы уноса для укрепления грунтов.– Там же.

47. Тимощук Н.С., Бобык И.С. Применение золы и шлака Бурштынской ГРЭС в железобетонных изделиях для дорожного строительства.– Там же.

48. Гаевой Ю.А. Бетоны для дорожного строительства с использованием золошлаков Курской ТЭЦ-1.– Там же.

49. Тур Н.Н. Применение зол ТЭЦ в бетонах.– Там же.

50. Ушаков В.В., Кожухов А.Г. Исследования по расширению ресурсов минеральных порошков для асфальтобетонов на основе отходов промышленности.– Там же.

51. Семенов В.А. Опыт использования местных природных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве. – М., Транспорт, 1991.

52. Зубец В.Н., Юдаков А.А. Гидрофобизация минеральных порошков на асфальтобетонном заводе. – Автомобильные дороги, № 8. М., 1986.

53. Закурдаев И.Е., Латкин А.С., Ярмолинская Н.И. Использование золошлаков гидроудаления Дальневосточных ТЭС. – Автомобильные дороги, № 9. М., 1988.

54. Касаткина Т.В. Эффективный способ улучшения свойств минеральных порошков из отходов промышленности. «Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов»./Тезисы докладов республиканской конференции. – Харьков, 1989.

55. Рекомендации по применению активных зол уноса ТЭЦ РСФСР в качестве вяжущих для укрепления грунтов в основаниях дорожных одежд. Гипродорнии. – М., 1974.

56. Рекомендации по применению золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций в тяжелых бетонах и строительных растворах. НИИЖБ Госстроя СССР. – М., Стройиздат, 1971.

57. Опыт использования активных и неактивных зол уноса ТЭС Франции в дорожном строительстве (по материалам зарубежного опыта)./Экспресс-информация, вып. 18 «Повышение эффективности производства и качества дорожных работ». ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – М., 1977.

58. Elks A.D., Redman G.T.R. Site control and the construction of embanknents using pulverised fuel ash from Lagoons. "The Surveyor and Munieipal Engineer". 1965. Juli.

59. Новейшие отечественные опыты применения зол в дорожном строительстве. Перевод Союздорнии 84/36829.

60. Шустер Дж.С., Хансен Р.Л. Зола уноса, как строительный материал для насыпных сооружений. American Society of Civil Engineers Gournal of Power Division. 1972 tom 98.

61. Гурячков И.Л. Укрепление грунтов золошлаковыми материалами. – В кн.: Укрепленные грунты. М., Транспорт, 1982.

62. Усов Б.А., Попов Н.Л. Сухие строительные смеси на основе портландцемента, кварцевых наполнителей и порошкообразных пластификаторов. – Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 7. 2002.

63. Haga N., Ohkawa V., Kawamoto T., Konno M., Mizoguchi J Utilisation of blast furnace and steel slags in road construction. Nippon Steel Techn. Rept. 1981/ N 17.

64. Construczioni. 1987. vol 36. N 384.

65. Использование отходов тепловой энергетики и угольной промышленности для производства строительных материалов в странах СЭВ./Экспресс-информация ВНИИЭСМ. 1981 г., сер 20, зарубежный опыт, вып. 5.

66. Proceedings of the Institute of Civil Engineers. 1989., vol 89. June.

67. Леонович И.Н., Бабаскин Ю.Г., Иванова Л.Б. Композиционные материалы на основе грунта и отходов промышленности. /Тезисы докладов конференции «Использование отходов промышленности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог». – Суздаль, 1989.

68. Исаева Н.В. Использование золошлаковой смеси Владимирской ТЭЦ в песчаных асфальтобетонах.– Там же.

69. Яговкина Н.С. Использование золы ТЭС в асфальтобетоне.– Там же.

70. Liu Hongjun, Yuan Feng, Yang Donghai. The strenghth varieties of the seibsurface made of lime and fine coal ash of the Hingwaj from Changba to Baichengt. Dongbei linye daxue xuehao = J. Nort-East Forest. Univ. 2000. 28, N1.

71. Vuorinen Jarmo. Lentotuhkan kayttokokemukset ja laatuvaatimukset asfalttipaallysteessa. Tie ja liikenne 2000. N 4.

72. Лукашевич В.Н. Применение асфальтобетонных смесей, приготовленных при комплексном использовании в качестве минерального порошка зол уноса ТЭС и сланцевых фусов, для устройства покрытий автомобильных дорог. Проектирование, строительство, ремонт и содержание транспортных сооружений в условиях Сибири. – Томск, 1997.

73. Poulint Nadia, Sedran Thierry, De Larrard Franyois, Marchand Jaegues. Predietion de la compacite des betons compactes an roulean a l'aide d'un modele d'empilement granulaire. Bull. lab. Ponts et C'haussees. 2001 N233.

74. Chen Xiaotong, Shao Jiexicn, Zhang Jun, Chen Rongsheng, Don Younian, Zhang Fan. Dongnan daxue xuebao. Ziran kexue ban. = J. Southeast Univ. Natur. Sci. Ed. 2001.31. N3.

75. Гаврилов А.Н., Кашицкая М.Е. Изучение технологии устройства цементобетонных покрытий и оснований с применением мелких песков и зол уносов в условиях Сибири./Тезисы докладов II международной научно-технической конференции «Автомобильные дороги Сибири». – Омск, Изд. СибАДИ. 1998.

76. Базжин Л.И. Асфальтобетоны из отвалов золошлаковых смесей и отходов производств органических полимеров.– Автошляховик Украіни, №1, 2000.

77. Bredel G. Tackling India's coal ash problem. Mining Eng. (USA). 1995.-51. N10.

78. "Flat as a Pancake" pavement meets tough spees in Kansas. ENR:. Eng. News-Rec. 1997 – 238, N 18.

79. Tuhkat huotykayttoon. Lahtinen P. Kuntatekn. – kommuntekn. [Kunnallistekniikka]. 1997.-52. N5.

80. Полосина-Никитина Н.С. Повышение гололедобезопасности асфальтобетонных покрытий за счет учета теплотехнических характеристик материалов. Информавтодор. – Автомобильные дороги, вып. 4. 1995.

81. Quegnes utilisations de cendres volantes en construction routiere. Excavator. 1990. N10.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1.Общие положения 5
2. Свойства зол и шлаков ТЭС 11
2.1. Химические и физические характеристики зол и шлаков 11
2.2. Классификация зол и шлаков. 18
3. Технические требования к золошлаковым материалам . . 20
4. Отечественный и зарубежный опыт применения зол и золошлаковых смесей в дорожном строительстве. 26
4.1. Применение зол сухого улавливания в качестве самостоятельного медленно твердеющего вяжущего материала или гидравлической добавки к цементу или извести 27
4.2. Применение зол сухого улавливания в качестве добавки к битумным или полимерно-битумным вяжущим 34
4.3. Применение золошлаковых смесей для устройства земляного полотна 36
4.4. Применение золошлаковых смесей для устройства слоев дорожных одежд. 38
4.5. Применение зол и золошлаковых смесей в асфальтобетоне 41
4.6. Применение золошлаковых смесей в цементобетоне. . . 43
4.7. Зарубежный опыт применения зол и золошлаковых смесей в дорожном строительстве 44
5. Основные нормативные документы и Методические рекомендации по применению зол и золошлаковых материалов в дорожном строительстве 47
6. Литература 50
Содержание. 58

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛ УНОСА И ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.
Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС

Редактор Ж. Иноземцева
Корректор Л. Крылова

Подписано к печати 10.10.2003 Формат 60x84/16
Печать офсетная. Бумага офсетная №1. 3,7 печ. л.
Тираж 150 экз. Заказ 15-03

Участок оперативной печати Союздорнии
143900, Московская обл., г. Балашиха-6,
ш. Энтузиастов, 79

gost.e-ecolog.ru