

**ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ
В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Канд. техн. наук, доцент **С.А. Чудинов**
(Уральский государственный лесотехнический
университет (УГЛТУ)),
заместитель генерального директора по развитию
Р.Д. Черняк
(ООО «ПРОФИНТЕХ»),
д-р техн. наук, профессор **В.Н. Дмитриев**,
старший научный сотрудник **О.Н. Байц**
(ООО «УралДорНИЦ»)
Контактная информация: r.megahim@gmail.com

В статье приведены результаты исследования опытных участков автомобильных дорог, построенных с применением золошлаковых отходов в составе материалов дорожной одежды, а также оценки транспортно-эксплуатационного состояния таких участков. По результатам исследований сделаны выводы об эффективности использования золошлаковых отходов в технологиях дорожного строительства.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, проектирование, строительство, опытный участок, автомобильная дорога, технология.

Золы уноса и золошлаковые отходы ТЭС и ГРЭС являются перспективным сырьем для дорожного строительства.

Исследования применения зол уноса Рефтинской ГРЭС [1, 2] при устройстве дорожных покрытий производились на запроектированных в соответствии с СП 37.13330.2012 [3] опытных промышленных участках на подъездной автомобильной дороге № 1 и подъездной автомобильной дороге № 2, основные характеристики которых представлены в **табл. 1**.

Данные автомобильные дороги были построены в 2016 г. Проектной документацией на строительство подъездных автомобильных дорог предусмотрено:

- возведение земляного полотна;
- устройство дорожной одежды;
- обустройство по нормативам внутриплощадочных дорог категории III-в.

*Основные технические характеристики
автомобильных дорог*

	<i>Подъездная автомобиль- ная дорога № 1</i>	<i>Подъездная автомобиль- ная дорога № 2</i>
<i>Класс автомобильной дороги</i>	Дороги промышленных предприятий (внутриплощадочные)	
<i>Категория</i>	III-в	
<i>Расчетная скорость движения, км/ч</i>	30	
<i>Наибольший продольный уклон, ‰</i>	23,3	105,4
<i>Протяжённость, км</i>	0,165	0,157
<i>Число полос движения</i>	2	
<i>Ширина земляного полотна, м</i>	9,0	
<i>Ширина проезжей части, м</i>	6,0	
<i>Ширина обочины, м</i>	1,5	
<i>Поперечный уклон проезжей части, ‰</i>	20	
<i>Поперечный уклон обочины, ‰</i>	40	
<i>Тип дорожной одежды</i>	капитальный	облегченный
<i>Вид покрытия</i>	асфальтобетон	
<i>Расчетная интенсивность движения, авт./сут.</i>	350	
<i>Заданный уровень надежности</i>	0,90	

В соответствии с перспективной интенсивностью движения и обеспеченностью дорожно-строительными материалами (ДСМ) [2], конструкция дорожной одежды подъездной автомобильной дороги № 1 – облегченного типа, толщиной 42 см, на подъездной автомобильной дороге № 2 принята дорожная одежда капитального типа, толщиной 51 см.

Расчет конструкции дорожной одежды выполнен в соответствии с отраслевыми дорожными нормами по проектированию нежестких дорожных одежд – ОДН 218.046-01 [4]. При этом уровень надежности

принят величиной 0,90, требуемый коэффициент прочности при расчете по критерию растяжения при изгибе, сопротивления сдвигу $K_{np} = 0,94$. Расчёт по упругому прогибу не требуется. Расчетная нагрузка на автомобиль группы А с нагрузкой на ось – 130 кН.

По результатам расчетов в проектной документации приняты следующие конструкции дорожных одежд:

Подъездная автомобильная дорога № 1

- однослойное покрытие: горячая плотная мелкозернистая асфальтобетонная смесь типа А марки П, марка битума БНД 90/130 по ГОСТ 9128 [5], толщина слоя $h = 0,05$ м;
- двухслойное основание: верхний слой – щебеночно-песчаная смесь (ЩПС), обработанная цементом с добавлением золы уноса, соответствующая маркам М60 и F25 по ГОСТ 23558 [6], толщина слоя $h = 0,15$ м; нижний слой – ЩПС по ГОСТ 25607 [7], толщина слоя $h = 0,22$ м;
- земляное полотно: скальный грунт карьера Малышевского рудоуправления.

В связи с тем, что подъездная автомобильная дорога № 1 облегченного типа используется преимущественно как пожарный проезд, заказчиком было приятно решение об устройстве асфальтобетонного покрытия толщиной 5 см в качестве защитного слоя над основанием конструкции дорожной одежды.

Подъездная автомобильная дорога № 2

- однослойное покрытие: горячая плотная мелкозернистая асфальтобетонная смесь типа А марки П, марка битума БНД 90/130 [5], толщина слоя $h = 0,05$ м;
- двухслойное основание: верхний слой – горячая пористая крупнозернистая асфальтобетонная смесь типа А марки П, марка битума БНД 90/130 [5], толщина слоя $h = 0,09$ м; нижний слой – ЩПС, обработанная цементом с добавлением золы уноса, соответствующая маркам М60 и F25 по [6], толщина слоя $h = 0,15$ м;
- выравнивающий слой основания: ЩПС по [7], толщина слоя $h = 0,22$ м;
- земляное полотно: скальный грунт карьера Малышевского рудоуправления.

Согласно п. 2.9 [4], наименьшая толщина слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее, при капитальном типе дорожной одежды составляет 18 см. Тем не менее, в случае применения материалов, укрепленных комплексными вяжущими, а также медленно твердеющими гидравлическими вяжущими (цемент + зола уноса), толщина слоя может быть снижена на 20 %. В связи с этим, в конструкции дорожной одежды слой ЩПС, обработанной цементом марками М60 и F25, с добавлением золы-уноса по [6], принят толщиной 14 см.

Оптимальный состав ЩПС, обработанной цементом и золой уноса, согласно требованиям [6], был получен на основе исследований различных составов цементогрунтовых смесей в зависимости от марок по прочности и морозостойкости, представленный в табл. 2.

Таблица 2

Матрица рецептов

<i>Марка по прочности</i>	<i>Марка по морозостойкости</i>	<i>Оптимальное содержание компонентов, в % от массы сухой ЩПС</i>	
		<i>Зола уноса Рефтинской ГРЭС</i>	<i>Цемент</i>
M10	F5	7	3
M20	F5	11	3
M20	F10	11	5
M40	F10	15	5
M40	F15	11	7
M60	F15	19	7
M60	F25	11	7
M75	F50	23	9

Согласно разработанной матрице рецептов, для достижения марок М60 и F25 соотношение компонентов для обработанной щебеночно-песчаной смеси составило: золы уноса – 11 %; цемента – 7 %.

Совместное использование цемента и золы уноса приводит к увеличению сроков набора марочной прочности данного комплексного вяжущего до 90 суток. В связи с этим после окончания процесса уплотнения был произведен уход за слоем основания из ЩПС, обработанной комплексным вяжущим. Уход за свежеложенным слоем производился быстрораспадающейся битумной эмульсией типа ЭБК-1. Движение транспорта по слою из ЩПС, обработанной комплексным вяжущим,

осуществлялся не ранее чем через 7 суток после окончания производства работ.

В ходе строительно-монтажных работ (СМР) был отработан технологический регламент приготовления и укладки ЩПС, обработанной цементом с добавлением золы уноса Рефтинской ГРЭС.

В 2020 г., спустя 4 года после ввода в эксплуатацию подъездной автомобильной дороги № 1 и подъездной автомобильной дороги № 2, были выполнены работы по исследованию транспортно-эксплуатационного состояния данных дорог на соответствие ГОСТ 33220 [8].

Исследование включало в себя оценку следующих транспортно-эксплуатационных показателей:

- измерение ровности покрытия по международному индексу ровности IRI;
- определение видимых дефектов дорожного покрытия;
- определение поперечной ровности дорожного покрытия.

Результаты проведения оценки транспортно-эксплуатационного состояния опытных участков по показателям продольной ровности представлены в **табл. 3**.

Продольная ровность проезжей части определялась инструментально при однократном проезде передвижной дорожной лаборатории по правой колее автомобильной дороги. Измерения продольной ровности проводились профилометром в соответствии с ГОСТ 33101 [9].

Согласно [8], значения показателей продольной ровности подъездной автомобильной дороги № 1 и подъездной автомобильной дороги № 2 не превышают допустимых значений по индексу IRI.

Определение видимых дефектов дорожного покрытия осуществлялось визуально по всей ширине проезжей части для получения данных о состоянии проезжей части с последующей балльной оценкой.

Визуальная регистрация повреждений (дефектов) проезжей части определялась в соответствии с ОДМ 218.4.039-2018 [10]. Повреждения фиксировались по всей ширине проезжей части для каждого 10-метрового участка с линейной привязкой к пройденному пути дорожной лаборатории. При определении геометрических размеров повреждений руководствовались требованиями ГОСТ 32825 [11].

Участок автомобильной дороги считается находящимся в нормативном состоянии, если балльная оценка по обнаруженным дефектам составила 4,0 и более в соответствии с [10, табл. 4.5]. Результаты регистрации дефектов покрытия проезжей части представлены в **табл. 4**.

Таблица 3

Результаты измерения продольной ровности дорожного покрытия опытных участков

<i>Адрес начала участка, м</i>	<i>Адрес конца участка, м</i>	<i>Тип дорожной одежды</i>	<i>Показатель ровности IRI</i>		<i>Наихудший показатель</i>	<i>Категория автомо- бильной дороги</i>	<i>Норма- тивное значение ровности, IRI</i>
			<i>Полоса 1</i>	<i>Полоса 2</i>			
0	130	облегченный	4,80	4,80	4,80	III-в	5,0
0	148	капитальный	4,64	5,00	5,00	III-в	5,5

Таблица 4

*Ведомость оценки состояния дорожного покрытия
опытных участков*

<i>Адрес начала участка, м</i>	<i>Адрес конца участка, м</i>	<i>Тип дорожной одежды</i>	<i>Балльная оценка</i>	
			<i>1 полоса</i>	<i>2 полоса</i>
<i>Подъездная автомобильная дорога № 1</i>				
0	10	<i>облегченный</i>	5,0	5,0
10	20		5,0	5,0
20	30		5,0	5,0
30	40		4,9	4,9
40	50		5,0	5,0
50	60		5,0	5,0
60	70		4,9	4,9
70	80		5,0	5,0
80	90		5,0	5,0
90	100		5,0	5,0
100	110		4,9	4,9
110	120		5,0	5,0
120	130		5,0	5,0
<i>Подъездная автомобильная дорога № 2</i>				
0	10	<i>капитальный</i>	5,0	5,0
10	20		5,0	5,0
20	30		5,0	5,0
30	40		5,0	5,0
40	50		5,0	5,0
50	60		5,0	5,0
60	70		5,0	5,0
70	80		5,0	5,0
80	90		5,0	5,0
90	100		5,0	5,0
100	110		5,0	5,0
110	120		5,0	5,0
120	130		5,0	5,0
130	148		5,0	5,0

В соответствии с [8], покрытие проезжей части не должно иметь дефектов, указанных в [8, табл. 2]. Согласно полученным результатам исследований (табл. 3), состояние подъездных автомобильных дорог № 1 и № 2 соответствует требованиям [8].

Оценка поперечной ровности дорожного покрытия выполнялась в соответствии с [9]. Сущность метода заключается в измерении металлической линейкой максимального просвета под трехметровой рейкой, уложенной на дорожное покрытие перпендикулярно к оси автомобильной дороги. Результаты измерения поперечной ровности представлены в табл. 5.

Таблица 5

*Результаты измерения поперечной ровности
дорожного покрытия опытных участков*

Адрес начала участка, м	Адрес конца участка, м	Тип дорож- ной одежды	Расчетная глубина колеи, мм				Норма- тивное значе- ние, мм
			Полоса 1		Полоса 2		
			слева	справа	слева	справа	
0	130	облег- ченный	8,3	7,7	6,7	5,7	40,0
0	148	капи- тальный	3,7	3,7	3,7	4,0	40,0

В соответствии с [8], значения показателей поперечной ровности дорожных покрытий подъездных автомобильных дорог № 1 и № 2 не превышают допустимых нормативных значений.

Кроме того, в 2020 г. было проведено исследование характеристик нижнего слоя основания подъездной автомобильной дороги № 1 и подъездной автомобильной дороги № 2, устроенного с использованием ЩПС, обработанной цементом марки ПЦ 400 в количестве 7 % с добавлением 11 % золы уноса, толщиной 0,15 м, как было указано ранее. В табл. 6 представлены результаты испытаний нижнего слоя оснований опытных участков, которые производились в возрасте 90 суток после завершения СМР и спустя 4 года эксплуатации, согласно [6] и ГОСТ 10180 [12].

*Результаты испытаний нижнего слоя оснований
опытных участков*

№ п/п	Наименование показателей, ед. из.	Результаты испытаний		Проект- ная / факти- ческая марка
		возраст 90 суток	после 4-х лет эксплу- тации	
1	Предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа	6,11	24,44	М60/ ~ М200
2	Предел прочности на растяжении при изгибе, МПа	1,21	5,92	М60/ ~ М200
3	Водопоглощение по массе, %	2,31	2,49	-

Согласно представленным результатам, фактическая марка по пределу прочности при сжатии и на растяжение при изгибе после 4-х лет эксплуатации объекта значительно превышает проектные значения, что может свидетельствовать о пуццолановых реакциях в комплексном вяжущем (смеси цемента и золы уноса), в результате которых прочностные показатели материала повышаются со временем.

Следует также упомянуть еще об одном опыте использования золы уноса Рефтинской ГРЭС при устройстве автомобильных дорог [13, 14]. Речь идет об опытном участке, верхний слой асфальтобетонного покрытия которого протяженностью 0,5 км был устроен с использованием золы уноса Рефтинской ГРЭС в качестве минерального порошка (МП-2). Работы были выполнены подрядной организацией ЗАО «Мелиострой» на региональной автомобильной дороге IV категории *п. Зайково – с. Знаменское* (км 42+550 – км 45+550) в Свердловской области, при научно-техническом сопровождении Уральского филиала ФГУП «РОСДОРНИИ».

Для проверки качества асфальтобетонной смеси была отобрана смесь из кузова автомобиля, согласно ГОСТ 12801 [15], и проведен комплекс исследований физико-механических свойств плотного мелкозернистого асфальтобетона типа А марки II на соответствие нормативным требованиям [5]. Результаты испытаний асфальтобетона представлены в табл. 7. Содержание битума горячих асфальтобетонных смесей определяли методом выжигания.

Таблица 7

*Физико-механические свойства горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона типа А II марки,
на основе минерального порошка Рефтинской ГРЭС*

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование показателей</i>	<i>Единица измерения</i>	<i>Результаты испытаний</i>	<i>Требования ГОСТ 9128</i>
1	<i>Средняя плотность</i>	г/см ³	3,41	не нормируется
2	<i>Истинная плотность</i>	г/см ³	2,53	не нормируется
3	<i>Остаточная плотность</i>	% по объему	4,70	свыше 2,5 до 5,0
4	<i>Водонасыщение</i>	% по объему	4,45	свыше 2,5 до 5,0
5	<i>Предел прочности при сжатии, при температурах: 20 °С 40 °С 0 °С</i>	МПа	3,88 1,7 7,3	не менее 2,2 не менее 0,9 не менее 12
6	<i>Предел прочности при сжатии после водонасыщения</i>	МПа	3,33	не нормируется
7	<i>Водостойкость</i>	-	0,87	не менее 0,85

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование показателей</i>	<i>Единица измерения</i>	<i>Результаты испытаний</i>	<i>Требования ГОСТ 9128</i>
8	<i>Сдвигоустойчивость: – коэффициент внутреннего трения асфальтобетона – сцепление при сдвиге при температуре 50 °С</i>	МПа	0,87 0,43	не менее 0,87 не менее 0,24
9	<i>Трещиностойкость по пределу прочности при расколе при 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин</i>	МПа	3,0	не менее 3,0 не менее 6,5
10	<i>Предел прочности при сжатии по- сле длительного водонасыщения</i>	МПа	3,0	не нормируется
11	<i>Водостойкость при длительном водонасыщении</i>	-	0,79	не менее 0,75
12	<i>Сцепление вяжущего с минеральной частью смеси</i>	-	выдерживает	выдерживается
13	<i>Содержание битума (определяемое методом выжигания)</i>	%	4,95	

Согласно представленным результатам, горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа А, II марки на основе минерального порошка Рефтинской ГРЭС соответствует нормативным требованиям [5].

Укладка асфальтобетонных смесей была произведена при температуре плюс 135 °С асфальтоукладчиком на гусеничном ходу Дунарас S 12550 С. Асфальтобетонная смесь принималась из транспортных средств и распределялась по основанию с предварительным уплотнением виброплитой и трамбующим брусом. После прохода асфальтоукладчика на поверхности уложенного слоя трещин, раковин и других дефектов обнаружено не было. Уплотнение асфальтобетонной смеси производилось легким вибрационным катком Hamm HD 70 массой 6-8 т, средним катком Дунарас СС 222 HF массой 11-12 т, а также тяжелым катком Дунарас СС 524 HF массой 16-18 т. Технология уплотнения асфальтобетонной смеси производилась в соответствии с требованиями СП 78.13330.2012 [16]. В рамках выполнения данной работы был разработан проект технологического регламента на производство горячей мелкозернистой смеси типа А для плотного асфальтобетона [17]. Производство асфальтобетонной смеси осуществлялось на асфальтобетонной установке ДС-168, расположенной на АБЗ ЗАО «Мелиострой».

Для проверки качества асфальтобетонного покрытия через две недели после укладки был проведен визуальный осмотр уложенного покрытия, при этом было отмечено его отличное состояние. Затем был выполнен отбор кернов на участке, устроенном с использованием в качестве минерального порошка золы уноса Рефтинской ГРЭС. Результаты физико-механических испытаний кернов из асфальтобетонного покрытия представлены в табл. 8.

В ходе взятия вырубок из асфальтобетонного покрытия и последующих исследований асфальтобетона был зарегистрирован коэффициент уплотнения верхнего слоя асфальтобетонного покрытия величиной 0,99, что соответствует требованиям [14] при обеспечении сцепления данного слоя с нижележащим слоем. Установлено, что фактическая толщина слоя соответствует проектной. Коэффициент сцепления шины колеса автомобиля с увлажненной поверхностью дорожного покрытия, устроенного с использованием золы уноса Рефтинской ГРЭС, составил 0,45.

Необходимо отметить, что минеральный порошок из сухой золы уноса Рефтинской ГРЭС может применяться для приготовления асфальтобетонных смесей III марки по [5], а также для всех видов органоминеральных смесей по ГОСТ 30491 [18, 19].

Таблица 8

*Результаты физико-механических свойства кернов
из укрепленного грунта*

№ п/п	Наименование показателей, ед. из.	Результаты испытаний		Требования СП 78.13330.2012	Требова- ния ГОСТ 9128
		ПК 29+00	ПК 28+00		
<i>Керны (вырубки)</i>					
1	<i>Толщина слоя по проекту, мм</i>	50	50	-	-
2	<i>Фактическая плотность, г/см³</i>	50	50	Допустимые отклонения от проекта ± 10 мм	-
3	<i>Средняя плотность, г/см³</i>	2,45	2,42	-	не нормиру- ется
4	<i>Водонасыще- ние, % по объему</i>	4,56	4,2	-	не более 5,0
5	<i>Коэффициент уплотнения</i>	1,00	1,01	не менее 0,99	-
<i>Переформованные образцы</i>					
6	<i>Средняя плотность, г/см³</i>	2,45	2,40	-	не нормиру- ется
7	<i>Водонасыще- ние, % по объему</i>	4,93	4,94	-	от 1,5 до 5,0

Следует упомянуть об опыте применения золошлаковых отходов для укрепления грунта. Ниже рассмотрены результаты испытаний грунта, укрепленного неорганическими вяжущими материалами, с использованием золошлакового материала ТЭЦ-2 г. Улан-Удэ.

При подборе состава укрепленного грунта установили необходимое количество грунта, вяжущего, золошлакового материала, расход воды из расчета максимальной плотности смеси при оптимальной влажности.

Результаты подбора смеси, % по массе, следующие:

- грунт крупнообломочный дресвяный несвязный, Республика Бурятия, Заиграевский район, карьер: «км 131 /д Улан-Удэ-Заиграево-Кижинга-Хоринск» – 80 %;
- золошлаковый материал, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ТЭЦ-2, золоотвал – 16 %;
- цемент ЦЕМ-I 42,5, Н, ООО «ТимлюйЦемент» – 4 %;
- вода – 11,5 % от веса минеральной части.

Испытания укрепленного грунта производились в соответствии с [12] и [6], результаты которых представлены в табл. 9.

Таблица 9

Физико-механические свойства укрепленного грунта

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование показателей, ед. из.</i>	<i>Результаты испытаний</i>
<i>1</i>	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут. 28 45 90	14,0 17,8 19,1
<i>2</i>	Предел прочности на растяжении при изгибе, МПа, в возрасте, сут. 28 90	1,90 2,30
<i>3</i>	Предел прочности на растяжении при раска- лывании, МПа, в возрасте, сут. 45 90	0,95 1,15
<i>4</i>	Средняя прочность серии образцов в возрасте 90 сут., МПа контрольные образцы после 50 циклов	19,1 14,5

Согласно представленным результатам, прочностные показатели через 90 суток следующие: предел прочности при сжатии – 19,1 МПа, что соответствует марке по прочности при сжатии М100; предел прочности

на растяжение при изгибе – 2,30 МПа, что соответствует марке по прочности на изгиб М100. Снижение прочности после замораживания – оттаивания через 50 циклов составило 24,1 % по массе, что соответствует марке по морозостойкости F50.

Таким образом, по результатам физико-механических испытаний, золошлаковый материал ТЭЦ-2 г. Улан-Удэ пригоден для укрепления грунтов, применяемых в основаниях, дополнительных слоях оснований и покрытиях автомобильных дорог.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опытно-производственное применение золошлаковых отходов продемонстрировано при строительстве опытных участков автомобильных дорог на территории Рефтинской ГРЭС, где зола уноса применялась в слоях основания и покрытиях дорожных одежд. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния данных участков показала, что за 4 года эксплуатации, в соответствии с [8], дороги находятся в нормативном состоянии.

Физико-механические испытания верхнего слоя основания с использованием ЩПС, обработанной цементом с добавлением золы уноса, показали, что фактическая марка по пределу прочности при сжатии, на растяжение при изгибе значительно превышает проектные значения, что свидетельствует о повышении прочностных характеристик во времени и долговечности данных конструктивных материалов.

Применение золы уноса в качестве минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси позволяет обеспечить требуемые физико-механические свойства смеси и асфальтобетонных слоев дорожных одежд.

Применение золошлаковых материалов совместно с цементом является эффективным в технологии строительства оснований, дополнительных слоев оснований и покрытий дорожных одежд из укрепленных грунтов. Комплексное вяжущее с использованием золошлакового материала позволяет обеспечить нормативные показатели по прочности и морозостойкости укрепленных грунтов для строительства конструктивных слоев дорожных одежд при незначительном количестве цемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хохлов А.И. Применение золы уноса Рефтинской ГРЭС в технологиях дорожного строительства / А.И. Хохлов, С.А. Чудинов // *Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. XV Всерос. науч.-техн. конф.* – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2019. – С. 223-225.
2. Chudinov S. The use of ash-mineral mixtures for the construction of high-strength coatings of forest roads / S. Chudinov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 574, V Pan-Russian Scientific - Technical Conference – Webinar "Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education» Saint Petersburg, Russian Federation. № 012010. DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012010.*
3. СП 37.13330.2012. *Промышленный транспорт.* – М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. – 202 с.
4. ОДН 218.046-01. *Проектирование нежестких дорожных одежд.* – М.: Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации, 2001. – 148 с.
5. ГОСТ 9128-2009. *Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.* – М.: Стандартинформ, 2010. – 20 с.
6. ГОСТ 23558-94. *Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.* – М.: МНТКС, 2018. – 10 с.
7. ГОСТ 25607-2009. *Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.* – М.: Стандартинформ, 2010. – 12 с.
8. ГОСТ 33220-2015. *Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию.* – М.: Стандартинформ, 2019. – 14 с.
9. ГОСТ 33101-2014. *Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности.* – М.: Стандартинформ, 2016. – 23 с.
10. ОДМ 218.4.039-2018. *Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог.* – М.: Федеральное дорожное агентство, 2018. – 73 с.
11. ГОСТ 32825-2014. *Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров поврежденных.* – М.: Стандартинформ, 2015. – 19 с.

12. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2018. – 36 с.
13. Чудинов С.А. Применение золы уноса ГРЭС для производства асфальтобетонных смесей / С.А. Чудинов, А.И. Хохлов, Е.Ф. Факова // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: материалы XII Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Уральский государственный лесотехнический университет, 2019. – С. 139-141.
14. Чудинов С.А. Применение минерального порошка на основе золы уноса в составе асфальтобетонных смесей / С.А. Чудинов, Д.М. Маринских // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы XIII Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет, 2021. – С. 463-465.
15. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 1998. – 63 с.
16. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. – М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2013. – 73 с.
17. Хохлов А.И. Технология утилизации золы уноса ГРЭС в дорожном строительстве / А.И. Хохлов, С.А. Чудинов, Е.Ф. Факова // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сб. мат. III Межд. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых; 07-08 февраля 2019 г. – Омск: СиБАДИ, 2019. – С. 241-244.
18. ГОСТ 30491-2012. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 19 с.
19. Черняк Р.Д. Опытное применение зол уноса ТЭС в дорожном строительстве // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: мат. XXV Межд. науч.- техн. конф., 07-10 апреля 2020 г., проводимой в рамках XVIII Уральской горнопромышленной декады. – Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2020. – С. 266-269.

LITERATURA

1. Hohlov A.I. *Primenenie zoly unosa Reftinskoj GRES v tekhnologiyah dorozhnogo stroitel'stva / A.I. Hohlov, S.A. Chudinov // Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: mater. XV Vseros. nauch.-tekhn. konf. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2019. – S. 223-225.*
2. Chudinov S. *The use of ash-mineral mixtures for the construction of high-strength coatings of forest roads / S. Chudinov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 574, V Pan-Russian Scientific - Technical Conference – Webinar "Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education» Saint Petersburg, Russian Federation. № 012010. DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012010.*
3. SP 37.13330.2012. *Promyshlennyj transport. – M.: Ministerstvo regional'nogo razvitiya Rossijskoj Federacii, 2012. – 202 s.*
4. ODN 218.046-01. *Proektirovanie nezhestkih dorozhnyh odezhd. – M.: Gosudarstvennaya sluzhba dorozhnogo hozyajstva Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii, 2001. – 148 s.*
5. GOST 9128-2009. *Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye, aerodromnye i asfal'tobeton. Tekhnicheskie usloviya. – M.: Standartinform, 2010. – 20 s.*
6. GOST 23558-94. *Smesi shchebenochno-gravijno-peschanye i grunty, obrabotannye neorganichesкими vyazhushchimi materialami, dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitel'stva. Tekhnicheskie usloviya. – M.: MNTKS, 2018. – 10 s.*
7. GOST 25607-2009. *Smesi shchebenochno-gravijno-peschanye dlya pokrytij i osnovanij avtomobil'nyh dorog i aerodromov. Tekhnicheskie usloviya. – M.: Standartinform, 2010. – 12 s.*
8. GOST 33220-2015. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Trebovaniya k ekspluatacionnomu sostoyaniyu. – M.: Standartinform, 2019. – 14 s.*
9. GOST 33101-2014. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Pokrytiya dorozhnye. Metody izmereniya rovnosti. – M.: Standartinform, 2016. – 23 s.*
10. ODM 218.4.039-2018. *Rekomendacii po diagnostike i ocenke tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobil'nyh dorog. – M.: Federal'noe dorozhnoe agentstvo, 2018. – 73 s.*
11. GOST 32825-2014. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Dorozhnye pokrytiya. Metody izmereniya geometricheskikh razmerov povrezhdenij. – M.: Standartinform, 2015. – 19 s.*
12. GOST 10180-2012. *Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obrazcam. – M.: Standartinform, 2018. – 36 s.*

13. Chudinov S.A. *Primenenie zoly unosa GRES dlya proizvodstva asfal'tobetonnyh smesey* / S.A. Chudinov, A.I. Hohlov, E.F. Fakova // *Lesnaya nauka v realizacii koncepcii ural'skoj inzhenernoj shkoly: social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo sektora ekonomiki: materialy XII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheckoj konferencii.* – Ekaterinburg: Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii; Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet, 2019. – S. 139-141.
14. Chudinov S.A. *Primenenie mineral'nogo poroshka na osnove zoly unosa v sostave asfal'tobetonnyh smesey* / S.A. Chudinov, D.M. Marinskih // *Effektivnyj otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodejstviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologij: social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy lesnogo kompleksa: materialy XIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheckoj konferencii.* – Ekaterinburg: Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii, Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet, 2021. – S. 463-465.
15. GOST 12801-98. *Materialy na osnove organicheskikh vyazhushchih dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitel'stva. Metody ispytanij.* – M.: MNTKS, 1998. – 63 s.
16. SP 78.13330.2012. *Avtomobil'nye dorogi.* – M.: Ministerstvo regional'nogo razvitiya Rossijskoj Federacii, 2013. – 73 s.
17. Hohlov A.I. *Tekhnologiya utilizacii zoly unosa GRES v dorozhnom stroitel'stve* / A.I. Hohlov, S.A. Chudinov, E.F. Fakova // *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya molodyh uchenyh: sb. mat. III Mezhd. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh; 07-08 fevralya 2019 g.* – Omsk: SibADI, 2019. – S. 241-244.
18. GOST 30491-2012. *Smesi organomineral'nye i grunty, ukreplennye organicheskimi vyazhushchimi, dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitel'stva. Tekhnicheskie usloviya.* – M.: Standartinform, 2019. – 19 s.
19. Chernyak R.D. *Opytnoe primenenie zol unosa TES v dorozhnom stroitel'stve* // *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogenogo syr'ya: mat. XXV Mezhd. nauch.- tekhn. konf., 07-10 aprelya 2020 g., provodimoj v ramkah XVIII Ural'skoj gornopromyshlennoj dekady.* – Ekaterinburg: Izdatel'stvo «Fort Dialog-Iset'», 2020. – S. 266-269.

.....
**EXPERIMENTAL AND PRODUCTION RESEARCHES OF
ASH AND SLAG WASTE USE IN ROAD CONSTRUCTION**

*Ph. D. (Tech.), Associate Professor S.A. Chudinov
(Ural State Forest Engineering University (USFEU),
Deputy General Director for Development R.D. Chernyak
(«PROFINTECH» LLC),
Doctor of Engineering, Professor V.N. Dmitriev,
Senior Research Associate O.N. Bayts
(«URALDORNITS» LLC)
Contact information: r.megahim@gmail.com*

The article deals with the researches results of experimental road sections realized using ash and slag waste in road pavement materials, as well as the assessment of transport and operational condition of such sections. Based on the research results, conclusions about the effectiveness of ash and slag waste use in road construction technologies are done.

Key words: *ash and slag waste, design, construction, experimental section, road, technology.*

Рецензенты: канд. техн. наук Ю.А. Рюмин (Академия дорожного хозяйства РУТ (МИИТ)); заместитель начальника отдела ведения реестра новых технологий И.И. Жевжиков (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 15.03.2022 г.