

УДК 625.7/.8; 625.8

***ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВ В  
ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ***

***Романенко И.И.***

*к.т.н., доцент,*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
Пенза, Россия*

***Петровнина И.Н.***

*к.т.н., доцент,*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,  
Пенза, Россия*

***Романенко М.И.***

*к.э.н., менеджер проектов,*

*Академия городских технологий «Среда»,  
г. Москва, Россия*

***Аннотация.***

Возникла потребность в разработке технологий по применению материалов местных сырьевых источников в дорожном строительстве, устойчивых к воздействию влаги и другим климатическим воздействиям в регионе. Было предложено произвести стабилизацию дорожного основания молотыми гранулированными доменными шлаками с использованием химического активатора твердения. В качестве активатора применили щелочной раствор NaOH от промывки изложниц. Прочность стабилизированного основания соответствует проектным значениям.

**Ключевые слова:** основание, дорожное полотно, поверхность износа, вяжущее, промышленные отходы, шлак, пески, зола ТЭЦ, прочность, стабилизация грунта, увлажнение.

# ***APPLICATION OF SECONDARY PRODUCTION PRODUCTS IN ROAD CONSTRUCTION***

## ***Romanenko I.I.***

*candidate of technical sciences, associate professor,*

*Penza State University of Architecture and Construction,*

*Penza, Russia*

## ***Petrovnina I.N.***

*candidate of technical sciences, associate professor,*

*Penza State University of Architecture and Construction,*

*Penza, Russia*

## ***Romanenko M.I.***

*candidate of economic sciences, project manager,*

*Academy of urban technologies "Wednesday",*

*Moscow, Russia*

## **Annotation.**

There was a need to develop technologies for the application of materials from local sources of raw materials in road construction that are resistant to moisture and other climatic influences in the region. It was suggested to stabilize the road foundation with ground granulated blast-furnace slags using a chemical hardening activator. As an activator, an alkaline solution of NaOH was applied from the washing of the molds. The strength of the stabilized base corresponds to the design values.

**Key words:** base, porous cloth, wear surface, astringent, industrial waste, slag, sands, ash of thermal power station, strength, soil stabilization, humidification.

Одним из самых больших препятствий на пути применения местных материалов при строительстве дорог является стремление снизить негативное влияние воды на сохранность покрытия дорожной конструкции. Город Пенза расположен в центральной части России где дожди не редкость и много участков на которых наблюдается выход родников в поверхностные слои.

Традиционно применялся подход, ориентированный на применение местных каменных материалов с невысокими эксплуатационными свойствами. В качестве такого материала применения щебень иссинского месторождения прочностью М400. Причем, такое основание в дорожном полотне сталкивается с наихудшими эксплуатационными условиями-внешним воздействиям при постоянном увлажнении. С течением времени увлажнение, мороз, высушивание приводят к отказу дорожного полотна и преждевременному капитальному ремонту.

Поэтому назрела потребность в разработке технологий по применению материалов местных сырьевых источников в дорожном строительстве, устойчивых к воздействию влаги и другим климатическим воздействиям в регионе. Разработка такого материала и технологии применения в современных условиях привела к широкому обсуждению среди специалистов-дорожников. Большинство которых ориентированы на широкое применение дешевых и малопрочных материалов. Преждевременный отказ дорожного полотна принесет им возможность получение контрактов на капитальный ремонт в будущем.

Учитывая тот факт, что природные минеральные вещества для дорожного строительства хорошего качества истощаются, а затраты на добычу и доставку из других регионов растут, исследователи ищут подходящие альтернативные материалы из побочных продуктов промышленности. При этом исследования сопряжены с рядом затруднений.

- Методики испытаний и технические характеристики, которые применимы к природным материалам, могут быть неприемлемы для оценки нетрадиционных материалов (т.е. альтернативных материалов).

- Это связано с тем, что свойства альтернативных материалов, например, размеры частиц, свойства и химическая структура, могут существенно отличаться от свойств традиционных материалов.

- Для соответствующей оценки этих материалов должны быть разработаны новые тесты, методики и должны быть сформированы новые критерии для применения в дорожном строительстве.

- С разработкой новых методик и тестов, возникает необходимость сопоставления результатов полученных для традиционных материалов с альтернативными.

Промышленные и бытовые отходы представляют собой перспективный источник альтернативных материалов которые широко применяют за рубежом. Мы видим в этом следующие преимущества: эти материалы дешевы и доступны, применение разработанной технологии позволяет решить вопросы, связанные с утилизацией отходов и улучшению экологической ситуации в регионе.

В табл.1 представлен список промышленных отходов, которые могут эффективно использоваться в дорожном строительстве.

Таблица 1.

#### Промышленные и бытовые отходы и побочные продукты

№ пп	Отходы и побочные продукты	Источник	Возможное применение
1	Пепел, золы	Тепловые электростанции	Наполнитель асфальтобетонных смесей, искусственные заполнители
2	Доменный шлак	Металлургическое производство чугуна	Минеральное вяжущее, стабилизатор грунтов (молотый шлак), заполнитель бетонных смесей.
3	Бетонный лом	Строительная индустрия	Заполнитель бетонных смесей, щебень под дорожное полотно
4	Вскрышные породы	Добыча угля, металлических руд	Замена грунта-плывуна
5	Отработанные горючие сланцы	Нефтехимическая промышленность	Замена грунта-плывуна
6	Литейные пески	Литейная промышленность	Мелкий наполнитель для бетона, песчаные подушки.
7	Отсевы от дробления каменных материалов	Строительная индустрия (ГОК)	Отсевы фракции 5-10мм для модифицирования бетонов, асфальтобетона, производства

			стенowych камней.
8	Цементная пыль	Цементная промышленность	Стабилизация грунтового основания дорожного полотна, связующее в битумной смеси, модификация молотых граншлаков.
9	Загрязненное машинное моторное масло	Автомобильная индустрия	Модифицирование свойств бетона
10	Мраморная пыль	Строительная и горнодобывающая промышленность	Наполнитель битумного вяжущего, модификатор свойств тяжелых бетонов
11	Отработанные шины	Автомобильная индустрия	Резиновая крошка для модифицирования битума, производство тротуарной плитки, резиновых ковриков
12	Бой стекла	Стекольная промышленность	Стабилизатор свойств тяжелых бетонов

В тоже время использование вторичного сырьевого ресурса требует определенных операций для создания условий по эффективному применению в дорожном строительстве. В таб.2 представлены основные направления применения промышленных отходов в дорожном строительстве.

Таблица 2.

№ пп	материал	преимущества	недостатки
1	Пепел, золы	Легкий, используемый в качестве вяжущего вещества в стабилизированном грунте (проявляет пуццолановые свойства).	Отсутствие однородности, наличие сульфатов, обеспечивает плавный набор прочности
2	Доменный шлак - Ваграночный шлак -Шлак цветной металлургии	Способность твердеть во влажных условиях, стабилизировать и структурировать основание. Производство минерального вяжущего.	Требуется измельчать до удельной поверхности 300м <sup>2</sup> /кг, необходимо подобрать активатор твердения, удалить остатки металлов.
3	Бетонный лом	Большая прочность, может быть использована в качестве крупного заполнителя	Нестабильность свойств, образуется до 30% пыли, требуется удаление металла и древесины.
4	Вскрышные породы	Используются для замены слабых и переувлажненных грунтов.	Много включений неоднородных пород

5	Отработанные горючие сланцы	Нежелательное использование в дорожном строительстве	Сжигание несгоревшего угля, сульфатная коррозия
6	Литейные пески	Заменитель мелкого заполнителя в асфальтобетонных смесях и песчаной подушки.	Наличие металлов в смеси, неоднородность состава по грансоставу.
7	Отсевы от дробления каменных материалов	Способны структурировать грунтовые основания, асфальтобетонные смеси, производство мелкоштучных бетонных камней	Требуется промывка отсевов и осуществить грануляцию материала
8	Цементная пыль	Гидратирует при взаимодействии с водой, может использоваться при стабилизации почвы	Наличие большого количества щелочи вызывает коррозию цементного камня и растрескивание
9	Загрязненное машинное моторное масло	Хороший модификатор структуры шлакощелочных бетонов	Требуется организованной сбор отработанного минерального моторного масла
10	Мраморная пыль	Модификатор свойств битума	Требуется технология тонкого измельчения
11	Отработанные шины	Гранулят применяется для модифицирования свойств битума	Требуется разработка специального метода тонкого измельчения и смешивания с битумом

Наличие вторичных ресурсов на основе отходов и побочных продуктов производств для широкого применения в дорожном строительстве требует разработки технологий по подготовки исходных материалов к промышленному использованию. Основной акцент целесообразно сделать на гранулированные шлаки черной металлургии и химической промышленности, формовочные пески, а также золы от сжигания углей.

Нами разработаны технологии и регламенты для применения гранулированных шлаков в производстве тяжелых бетонов и дорожном строительстве, но и за рубежом идет научно-исследовательская работа по применению шлаков цветной металлургии [1,2]. Основное применение шлаков: - замена крупного заполнителя;

- модифицирование грунта за счет создания контактной структуры.

Разработанная технология [3] способствует получению гидравлического вяжущего для стабилизации грунтов различного состава и

минералогической составляющей. Это обеспечивает сокращению дорожных работ по времени и расходу каменных материалов для создания основания под дорожное полотно.

Зола ТЭЦ находят широкое применение для стабилизации грунтов совместно с известью для районов с малым количеством атмосферных осадков [4].

Российские ученые [5,6,7] нашли применение зол ТЭЦ и как компонент структурной добавки в портландцемент, что позволяет активно влиять на процессы твердения гидравлического вяжущего.

Литейные пески редко используют в дорожном строительстве. Причина лежит в основном из-за наличия включений металла и однородного размера частиц песка. Для подготовки песков к применению требуется осуществить ряд технологических мероприятий. Организовать сбор песков, хранение, усреднение за счет дробления глыб, перемешивание, проведение магнитной сепарации, что является первым этапом подготовки вторичного сырья к широкому применению.

Второй шаг - разработка технической документации: создание экологического паспорта на пески, согласование с проектными организациям применение песков в дорожном строительстве, определение физико-механических свойств песков.

Третий- разработка составов и методов применения песков в дорожном строительстве, и передача технологий подрядным организациям.

Применение металлургических молотых шлаков позволяет исключить применение портландцемента для стабилизации грунта. Первый опыт применения шлаков это строительство поселковых дорог в Пензенской области. Обследование состояния дорожного основания производилось в Бессоновском районе Пензенской области. Дорожное полотно не удовлетворяет условиям эксплуатации. Наличие трещин, провалов, колейность, шелушение поверхностного слоя (рис.1) создают условия для провоцирования дорожно-транспортных происшествий.

Для оценки состояния дорожного полотна применялась методика визуальной оценки состояния дорожной одежды (ВСН 6-90 «Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог»). Визуальная оценка



Рис.1 – Образование поперечных и продольных трещин через 3-6м, локальное поверхностное шелушение

состояния дорожной одежды является способом получения предварительной информации, позволяющей выявить места, подлежащие детальной инструментальной оценке прочности.

Прочность оценивалась на основе испытаний образцов-кernов, отобранных kern отборником (рис.2) из дорожного полотна.



Рис.2– Отбор проб kern отборником с фиксацией слоев дорожной одежды

Прочность на сжатие основания дорожного полотна, укрепленного шлаком (шлако-грунтобетон) определяется как для тяжелого бетона по ГОСТ 18105-06 на образцах в возрасте 90 дней. Определение прочности

шлакогрунта на сжатие допускается производить на образцах-цилиндрах:  $d = 150$  мм,  $h = 150$  мм, с переходным по отношению к стандартному кубу размер  $150 \times 150 \times 150$  мм, коэффициентом 1,0.

Все образцы испытываются в водонасыщенном состоянии. При контрольном испытании прочности готового основания (покрытия) взятые вырубками за 7 суток до испытания на сопротивление сжатию выравнивают при необходимости цементным раствором 1:3 (особенно нижнюю поверхность). Испытывают на гидравлическом прессе через штамп диаметром 10 - 15 см. (ВСН 164-69 Технические указания по устройству дорожных оснований из обломочных материалов, укрепленных цементом).

В результате предварительных испытаний было выявлено, что существующее дорожное основание подвергается постоянному переувлажнению, отсутствует дренирующая песчаная подушка, а щебеночный слой практически исчез.

Было предложено произвести стабилизацию основания молотыми гранулированными доменными шлаками с использованием химического активатора твердения. В качестве активатора применили щелочной раствор NaOH от промывки изложниц. Дозировка щелочного компонента составляла 8% от массы шлака. Шлак предварительно измельчался в шаровой мельнице до удельной поверхности  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Гранулированный шлак является отходом чугуночного производства Новолипецкого металлургического комбината. Шлак дозировался из расчета 5% от массы грунта. Для этих целей предварительно по поверхности дорожной одежды распределялся молотый шлак механическим распределителем по всей ширине проезжей части и затем методом ресайклинга (рис.3,4) увлажнялся до оптимальной влажности и перемешивался ротором на глубину 200мм.

Согласно разработанному регламенту на устройство основания методом ресайклинга поверхности придается односкатный уклон автогрейдером и производится уплотнение основания катками легкого и среднего типа. Через трое суток поверхность обрабатывается битумной

эмульсией и сверху устраивается поверхность износа толщиной 50мм из асфальтобетона марки БП.



Рис.3– Распределение вяжущего и смешение компонентов с дорожным основанием механизированным способом на месте ведения работ



Рис.4– Общий вид дорожного основания после усреднения

В возрасте 28 суток производится отбор кернов шлако-грунтобетона для проведения испытаний на сжатие и раскол. Полученные результаты представлены в таб.1, 2.

Таблица 1.

Физико-механические свойства кернов из шлако-грунтобетона

Место отбора керна	Размер образца, см		Площадь образца $S, \text{см}^2$	Объем образца $V, \text{см}^3$	Вес образца в водонасыщенном состоянии $g / \text{вес сухого образца}, g$	Водопоглощение $W, \%$ веса	Объемный вес материала, $\text{кг}/\text{см}^3$		Показание манометра, $K N$	Предел прочности водонасыщенных образцов, $\text{кг}/\text{см}^2$
	диаметр	длина $l$					влажного $\gamma_0$	сухого $\gamma$		
2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ул. Транспортная Керн 1	14,26	15,11	159,63	2412,8	5525,3 / 5280,5	4,56	2,29	2,19	75	46,98
Ул. Транспортная Керн 1*	14,3	15,02	160,52	2410,21	5485,68 / 5256,5	4,36	2,28	2,18	90	56,07

Согласно проектным решениям прочность на сжатие шлако-грунтобетона должна быть не менее  $40 \text{кг}/\text{см}^2$ . Водопоглощение не более 6%. Величину сопротивления при расколе вычисляют с точностью до  $0,5 \text{кг}/\text{см}^2$ , как среднеарифметическое значение из двух наибольших результатов испытанных образцов.

Таблица 2.

Результаты испытания кернов на растяжение при расколе

Места отбора кернов	Размер образца, мм		Показание манометра, $KN$	Сопротивление растяжению при расколе, $\text{кг}/\text{см}^2$
	Диаметр, см	Длина, см		
Ул. Транспортная Керн 1	14,3	10,0	1,59	0,71
Ул. Транспортная Керн 1*	14,315	99,5	1,68	0,75

Проведенные испытания и состояние новой дороги позволили сделать следующие выводы:

- Стабилизированное грунтовое основание молотым граншлаком от производства чугуна и активированное щелочным раствором щелочи позволили получить основание с средним показателем прочности на сжатие 51,5кг/см<sup>2</sup>.
- Среднее сопротивление растяжению при расколе кернов составляет 0,73кг/см<sup>2</sup>.
- Для повышения истираемости и срока службы покрытия из песчаных грунтов, суглинков, супесей, глинистых пород и грунтов с использованием пород улучшающих их гранулометрический состав, а также укрепленных цементом или молотыми шлаками необходимо устраивать поверхностный слой износа из асфальтобетонной смеси, или путем втапливания щебня в битумную эмульсию по методу устройства ЩПО.
- Для предотвращения накапливания напряжений в полученном шлакогрунтобетоне необходимо устраивать поперечные деформационно-температурные швы с шагом равным ширине дорожного полотна. Глубина пропила составляет ½ толщины слоя грунтобетона. Швы устраивают в шлакогрунтобетоне после набора 70%прочности от нормативного значения. Швы необходимо заполнять битумно-каучуковыми мастиками или силиконовыми.
- Прочность стабилизированного основания соответствует проектным значениям.

#### **Библиографический список:**

1. N. P. Hasparyk, P. J. M. Monteiro, and H. Carasek, “Effect of silica fume and rice husk ash on alkali-silica reaction,” *ACI Structural Journal*, vol. 97, no. 4, pp. 486–492, 2000. View at Google Scholar • View at Scopus
2. G. Li and X. Zhao, “Properties of concrete incorporating fly ash and ground granulated blast-furnace slag,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 25, no.

3, pp. 293–299, 2003. [View at Publisher](#) • [View at Google Scholar](#) • [View at Scopus](#).

3. Романенко И.И., Петровнина И.Н., Еличев К.А., Романенко М.И. Стабилизация грунта неорганическими вяжущими при строительстве дорог в Пензе // Уральский научный вестник. 2016. Т. 10. № 2. С. 85-89.
4. J. Bijen, “Benefits of slag and fly ash,” *Construction and Building Materials*, vol. 10, no. 5, pp. 309–314, 1996. [View at Publisher](#) • [View at Google Scholar](#) • [View at Scopus](#)
5. Романенко И.И., Петровнина И.Н., Еличев К.А., Романенко М.И. Побочные продукты металлургического производства как стабилизатор оснований дорожного полотна // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2016. Т. 8. № 1. С. 183-186.
6. Романенко И.И., Романенко М.И., Петровнина И.Н., Пинт Э.М. Влияние водорастворимого полимерного стабилизатора грунта на физико-механические свойства песчаного грунта // Интернет-журнал Науковедение. 2014. № 5 (24). С. 157.
7. Калашников В. И. О классификации шлаковых и минеральношлаковых вяжущих, активизированных щелочами / Калашников В. И. [и др.] // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. -Пенза, 2005. -С. 67-71.