

***УКРЕПЛЕНИЕ ДОРОЖНОГО ОСНОВАНИЯ
БЕСЦЕМЕНТНЫМИ ВЯЖУЩИМИ***

Романенко И. И.,

к.т.н., доцент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, г. Пенза

Петровнина И. Н.,

к.т.н., доцент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, г. Пенза

Аннотация

Основной идеей исследовательской работы является расширение сырьевой базы строительства за счет использования побочных продуктов и отходов металлургического производства, а также некондиционных песков региона. Цель исследования – повышение прочности грунтобетона, морозостойкости дорожного основания, долговечности, снижение транспортных операций и стоимости дорожных работ за счет применения вяжущих, приготовленных на основе техногенных отходов производств. Грунтобетоны, полученные на основе разработанных вяжущих «Комплексное вяжущее» и «Граунд 3», имеют прочностные показатели на сжатие и на изгиб выше, чем составы на портландцементе на 29-87%, а морозостойкость выше на 40-100%, что характеризует более высокие эксплуатационные свойства. Комплексные минеральные вяжущие на основе металлургических шлаков, кварцевых песков и портландцемента позволяют получить грунтобетоны дорожного назначения с высокими эксплуатационными свойствами, снизить транспортные расходы на доставку материалов и более эффективно использовать техногенные отходы промышленности и некондиционные материалы при производстве дорожно-строительных работ.

Ключевые слова: грунтобетон, минеральное вяжущее, металлургические шлаки, мелкие пески, новообразования, прочность, долговечность.

STRENGTHENING THE ROAD BASE CEMENTLESS BINDERS

Romanenko I.I.,

Ph.D., Associate Professor

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, Penza

Petrovnina I.N.,

Ph.D., Associate Professor

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, Penza

Annotation

The main idea of the research work is to expand the raw material base of construction through the use of by-products and waste of metallurgical production, as well as substandard sands of the region. The goal is to increase the strength of soil concrete, frost resistance of the road base, durability, reduce transport operations and the cost of road works through the use of binders prepared on the backbone of man-made industrial waste. Soil concretes obtained on the basis of the developed binders "Complex binder" and "Ground 3" have compressive and flexural strengths higher than compositions on Portland cement by 29-87%, and frost resistance is higher by 40-100%, which characterizes higher operational properties. Complex mineral binders based on metallurgical slags, quartz sands and Portland cement make it possible to obtain road concretes with high performance properties, to reduce transport costs for the delivery of materials and to more efficiently use industrial waste and substandard materials in the production of road construction works.

Key words: soil concrete, mineral binder, metallurgical slag, fine sands, neoplasms, strength, durability.

В настоящее время в Пензенской области большое внимание уделяется реконструкции дорог в городах и в сельской местности, в частности, устройству дороги между районом «5Б» и районом «Север» г. Пензы. Протяженность указанной дороги составляет около 2 км при ширине 14 м. В основу дорожных работ легла концепция замены старого покрытия, укрепления основания и устройства многослойной конструкции дорожного покрытия [13, 15]. При этом вдоль дороги устраивается полоса разгона и съезда в производственные карманы для большегрузных машин. Примерная стоимость 1 м² дорожного полотна только по материалам составляет 3 млн. руб. Опыт строительства подобных линейных сооружений показывает, что затраты до 60-65% приходятся на сооружение дорожного основания и покрытия.

Важнейшим источником снижения стоимости дорожного строительства является замена дорогостоящих вяжущих материалов, каменных заполнителей на местные природные дорожно-строительные материалы или грунты, укрепленные комплексными вяжущими на основе отходов различных производств, например, металлургической и химической промышленности, дробления и сортировки каменных материалов, добычи и сортировки песков [10, 11, 15].

В Пензенской области нет высокопрочных горных пород, нет песков с модулем крупности $M_{кр} = 2,5-3,0$, но имеются предложения по внедрению новых технологий. Они позволяют экономить средства при строительстве новых и реконструкции существующих дорог, при производстве новых видов вяжущих и материалов строительного назначения на их основе. Все это окажет влияние на снижении себестоимости строительства дорог.

Предлагается участки дорог, отведенные под полосы разгона и съезды в производственные карманы для большегрузных машин, использовать как экспериментальные участки строительства. Основная цель производственных исследований – получение дорожного основания прочностью на сжатие 10,0 МПа, прочностью на изгиб 3,0 МПа и морозостойкостью F50.

Технология подготовки дорожного основания должна выполняться методом холодного ресайклинга [7, 10, 12, 14]. Глубина фрезерования суглинистого основания составляет 25 см. В качестве вяжущего используется композиция, состоящая из молотого металлургического шлака, мелкого песка и портландцемента. Соотношение компонентов в комплексе составляет: МШ:МП:ПТЦ = 0,25:0,25:0,5. В качестве молотых металлургических граншлаков использовали доменные шлаки магнитогорского металлургического комбината. В качестве суперпластификатора использовали Хедетал ГП-9γ. Мелкий песок с $M_{кр} = 1,25$ применяли с Ленинского карьера Пензенской области.

В дорожном строительстве широко применяют различные химические композиции в виде стабилизаторов грунтов [2, 6, 8, 14]. Однако данные материалы обладают значительной стоимостью, и, кроме того, они не универсальны. В то же время, указанные композиции отличаются высокой кислотностью, что отрицательно сказывается на коррозионной стойкости стальных элементов машин.

Вяжущее «Граунд-3» изготовлено на основе молотого доменного шлака Магнитогорского металлургического комбината до $S_{уд} = 310 \text{ м}^2/\text{кг}$. Активатор твердения – жидкое стекло.

Для сопоставления результатов в качестве вяжущего использовали портландцемент марки М400Д0 «Мордовцемент».

Структуру суглинка улучшали за счет введения овражного песка с модулем крупности $M_{кр} = 1,2$ и отсева от дробления гранитного щебня Павловского карьера (фракция 0-10 мм).

Соотношение между песком и отсевом от дробления в песчано-гранитной смеси во всех экспериментах составляло 1:2. Соотношение между грунтом и песчано-гранитной смесью – 3:2. Расход вяжущего определяли, как сверх 100 % (грунто-песчано-гранитная смесь).

Экспериментальные образцы, представляющие собой цилиндры диаметром 70 мм и высотой 70 мм, формовались при оптимальной влажности (9,1-11,5 %) комплексной смеси [3, 4, 10]. Формование производили на гидравлическом прессе с усилием 30,0 МПа. После формовки образцы-цилиндры хранились в камере нормального твердения. Испытания проводились в возрасте 14, 28 и 90 суток хранения, причем, перед испытанием образцы насыщались водой в течение 24 часов. Для определения прочности на изгиб формовались образцы в виде балочек размером 40×40×160 мм.

Методика исследований свойств образцов грунтобетона в виде балочек идентична исследованию свойств образцов-цилиндров, изготовленных для определения прочности на сжатие [1, 9, 13]. Составы, участвующие в экспериментах, представлены в таблице 1, полученные результаты в таблице 2.

Таблица 1 – Составы композиционных грунтобетонов

№ пп	Ингредиенты	Составы, расход материалов на 1 м ³ смеси, %								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Портландцемент	8	15	25	-	-	-	-	-	-
2	«Комплексное вяжущее»	-	-	-	10	15	20	-	-	-
3	«Граунд 3»	-	-	-	-	-	-	10	15	20
4	Грунто - песчано - гранитная смесь	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	Хедетал ГП-9γ (% от расхода вяжущего)	0,8	0,8	0,8	-	-	-	-	-	-

Таблица 2 – Кинетика набора прочности композиционных грунтобетонов

№ состава	Прочность грунтобетонных (МПа) образцов в возрасте, сут						Морозостойкость в возрасте 90 сут, кол. циклов
	14		28		90		
	R _{сж}	R _{из}	R _{сж}	R _{из}	R _{сж}	R _{из}	
1	3,21	1,99	6,16	2,12	8,44	3,00	50
2	4,5	2,06	7,91	2,67	12,0	3,38	65
3	6,78	2,28	16,33	3,41	20,62	3,60	70
4	4,36	2,48	8,88	3,85	17,51	4,51	100
5	6,5	2,77	10,72	3,85	22,04	4,92	100
6	15,87	3,22	25,11	4,40	37,92	5,63	150
7	2,56	1,95	7,03	2,89	15,50	3,74	75
8	4,05	2,88	12,00	3,11	18,43	4,00	100

9	5,73	3,03	19,96	3,46	26,79	4,41	100
---	------	------	-------	------	-------	------	-----

Полученные композиционные грунтобетоны в зависимости от состава можно использовать, как для сооружения основания, так и для верхнего слоя покрытия дорожного полотна. Составы грунтобетонов, на основе вяжущих «Комплексное вяжущее» и «Граунд 3» имеют показатели прочности на сжатие и на изгиб выше, чем составы на портландцементе. Морозостойкость составов 4-9 выше показателей по морозостойкости составов 1-3. Таким образом, поставленная цель исследования – повышение прочности, морозостойкости оснований, долговечности, снижение транспортных операций и стоимости дорожных работ достигнута за счет применения вяжущих, приготовленных на основе техногенных отходов производств.

Создание высокощелочной среды в грунтобетоне обеспечивает благоприятные условия для образования низкоосновных гидросиликатов кальция СН, гидрогранатов, для которых характерна малая растворимость в водных условиях.

Процесс гидратации минералов входящих в молотые граншлаки обусловлен каталитическим действием щелочей на разрыв ковалентных связей и $Al-O-Si$, причем, рН должна быть не менее 11 [1, 2, 11].

Конденсационно-кристаллические процессы твердения характерны не только для систем на основе портландцемента, но и для предлагаемых вяжущих, таких как «Комплексное вяжущее» и «Граунд 3».

Взаимодействие жидкого стекла с молотым шлаком, пылеватыми глинистыми частицами грунта способствует формированию новообразований, которые создают совместно с кварцевыми частицами и непрогидратированными частицами вяжущего прочный каркас.

Особую роль в грунтобетоне играет молотый шлак [6, 10]. Его мельчайшие частицы являются центрами гидратации, благодаря чему минеральная композиция с оптимально подобранным составом превращается в искусственный камень.

Технология укрепления грунта на основе минерального вяжущего состоит из последовательно выполняемых операций. В первую очередь удаляется растительный слой (деревья, кустарник, старые пни, редколесье). Плодородный верхний слой почвы снимается и вывозится за пределы строительной площадки с одновременным приданием площадке заданных уклонов, как в продольном, так и в поперечном направлениях с соблюдением заданных проектных отметок основания. Предварительное профилирование задает требуемую форму поверхности, гарантируя геометрическую целостность укрепляемого слоя. Работы по устройству укрепленных слоев грунта методом смешения на месте начинают только после установления постоянных среднесуточных положительных температур воздуха в районе строительства не менее +10 °С.

Распределение «Комплексного вяжущего» или «Граунд 3», увлажнение, введение активаторов и гомогенизация грунтовой смеси осуществляется в один проход. Оптимальная скорость производства и укладки смеси составляет 4,0 м/мин. Толщина обрабатываемого грунта 15-50 см. Возможно двухстадийное распределение материалов [12, 13]. Сначала укладывают выравнивающий новый материал-песок, затем распределяется молотый шлак, например, с помощью грунтосмесительной машины и только затем распределяют по всей поверхности на заданную толщину корректирующий слой песка или отсева от дробления щебня. Увлажнение, введение активаторов и гомогенизация грунтовой смеси осуществляется вторым проходом грунтосмесительной машины. При этом грунтосмесительная машина осуществляет предварительное уплотнение обработанного грунта с заданием поперечного профиля.

Начальный процесс уплотнения грунтобетона заключается в создании максимальной плотности уплотняемого материала в результате последовательности проходов: сначала используют средний по массе каток, а затем тяжелый. Количество проходов катком по одному месту должно быть не

менее 14 раз. Это позволяет получить уплотнение, соответствующее коэффициенту $K = 0,98$.

Грунтобетон укрывают нетканым материалом «Дорнит» с поливкой его водой или покрывают пленкой полиэтилена с последующей засыпкой песка толщиной 3-6 см. По достижении 70 % прочности грунтобетона, уход с поливкой водой прекращается.

В случае устройства поверхности износа из асфальтобитумных или битумнополимерных композиций поверхность грунтобетона обрабатывается битумной эмульсией через распылительную рампу на всю ширину полотна. Поверхность прикрывается пленкой, при этом поливка грунтобетона не требуется.

Таким образом, выполненные исследования и промышленное внедрение в строительство дорог доказали целесообразность применения бесцементных и малоцементных вяжущих в получении грунтобетонов дорожного назначения.

Предлагаемая технология позволяет получить дорожное основание более прочным, долговечным и морозостойким. Удешевление дорожных работ происходит за счет использования вяжущих «Комплексное вяжущее» и «Граунд 3» и снижения транспортных расходов, что позволит существенно снизить себестоимость строительства.

Библиографический список:

1. Абрамова Т.Т. Использование стабилизаторов для улучшения свойств связных грунтов / Т.Т. Абрамова, А.И. Босов, К.Э. Валиева // Геотехника. – 2012. – № 3. – С. 4-28.
2. Ashley E., Lemay L. Concrete's contribution to sustainable development. J. Green Build. 2008; 3:37–49. doi: 10.3992/jgb.3.4.37.
3. Coppola L., Coffetti D., Crotti E., Gazzaniga G., Pastore T. An Empathetic Added Sustainability Index (EASI) for cementitious based construction materials. J. Clean. Prod. 2019; 220:475–482. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.160.

4. Filho R.T., Gonçalves J., Americano B., Fairbairn E. Potential for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in Brazil. *Cem. Concr. Res.* 2007; 37:1357–1365. doi: 10.1016/j.cemconres.2007.06.005.
5. Florea M., Ning Z., Brouwers H. Activation of liberated concrete fines and their application in mortars. *Constr. Build. Mater.* 2014; 50:1–12. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.09.012.
6. Jiang Y., Ling T.-C., Mo K.H., Shi C. A critical review of waste glass powder- Multiple roles of utilization in cement-based materials and construction products. *J. Environ. Manag.* 2019; 242:440–449. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.04.098.
7. Khan S.U., Nuruddin M.F., Ayub T., Shafiq N. Effects of Different Mineral Admixtures on the Properties of Fresh Concrete. *Sci. World J.* 2014;2014:11. doi: 10.1155/2014/986567.
8. Li H., Dong L., Jiang Z., Yang X., Yang Z. Study on utilization of red brick waste powder in the production of cement-based red decorative plaster for walls. *J. Clean. Prod.* 2016;133:1017–1026. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.05.149.
9. Максимов А.Т. Применение полимерной добавки Nicoflok для укрепления и стабилизации грунтов / А.Т. Максимов, Г.И. Собко. -М.: ВТУ Спецстроя России, 2006. -89 с.
10. Naceri A., Hamina M.C. Use of waste brick as a partial replacement of cement in plaster. *Waste Manag.* 2009; 29:2378–2384. doi: 10.1016/j.wasman.2009.03.026.
11. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков / Н.А. Шаповалов, Л.Х. Загороднюк, И.В. Тикунова, А.Ю. Щекина //Фундаментальные исследования. - 2013. - № 1 (часть2). - С. 439-443.
12. Романенко И.И. Строительство дорог из бетоногрунтовых смесей с применением ресайклера. / И.И. Романенко, М.И. Романенко, Э.М. Пинт, К.А. Еличев // Сборник научных трудов международной научной конференции «Наука и образование: проблемы развития строительной отрасли». Пенза, ПГУАС, 29-30 ноября 2012 г.

13. Романенко И.И. Современные способы по устройству дорожных оснований. / И.И. Романенко, М.И. Романенко, И.Н. Петровнина, К.А. Еличев // Materiály i mezinárodní vědecko – praktická konference «innovation is the source of development of national economy – 2014». Díl 2 «Ekologie. Výstavba a architektura. Zemědělství». Praha, Penza. Pensa State Universitet of Architecture and Construction. 2014.
14. Sabir B., Wild S., Bai J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: A review. Cem. Concr. Compos. 2001; 23:441–454. doi: 10.1016/S0958-9465(00)00092-5.
15. Хоботова Э.Б. Отвальный доменный шлак как сырьевой компонент вяжущих веществ/Э.Б. Хоботова, Ю.С. Калмыкова // Экология и промышленность. - 2011.- № 1 - С. 35-40

Оригинальность 82%