

Трибуна Молодых

УДК 625.7/.8

DOI: 10.18324/2077-5415-2023-4-189-192

Показатели укрепленных грунтов, применяемых при строительстве лесовозных автомобильных дорог

И.А. Викулин

Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина,
ул. Старых Большевиков, 54а, Воронеж, Россия
ilona.savchenko.2016@mail.ru

Статья поступила 26.09.2023, принята 20.11.2023

Деградация и ускоренное старение дорожных конструкций в условиях быстрого роста транспортных нагрузок на дорожную сеть и несоответствия темпов проведения ремонтных работ по модернизации дорог является одной из причин низкого эксплуатационного уровня участков лесовозных автомобильных дорог. Обеспечение необходимого эксплуатационного уровня участков лесовозных автомобильных дорог при одновременном поддержании их транспортно-эксплуатационных качеств на высоком уровне на обозримую перспективу ставит перед исследователями, занимающимися данными вопросами, основную стратегическую задачу — повышение сроков службы, транспортно-эксплуатационных качеств дорог за счет эффективной организации ресурсного обеспечения дорожно-строительного производства в условиях ограниченных ресурсов.

Ключевые слова: укрепленный грунт; лесовозные автомобильные дороги; цементогрунт, цементно-грунтовые покрытия.

Indicators of reinforced soils used in the construction of logging roads

I.A. Vikulin

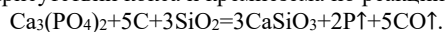
Air Force Academy named after N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin; 54a, Starykh Bolshevikov St., Voronezh, Russia
ilona.savchenko.2016@mail.ru

Received 26.09.2023, accepted 20.11.2023

Degradation and accelerated aging of road structures in conditions of rapid growth of transport loads on the road network and inconsistency in the pace of repair work to modernize roads is one of the reasons for the low operational level of sections of logging roads. Ensuring the required operational level of sections of logging highways while simultaneously maintaining their transport and operational qualities at a high level for the foreseeable future poses the main strategic task for researchers dealing with these issues - increasing the service life, transport and operational qualities of roads through the effective organization of resource support for roads. -construction production in conditions of limited resources.

Keywords: reinforced soil; logging roads; cement soil, cement soil coatings.

Введение. На ряде предприятий, расположенных в районных промышленных лесозаготовок, шлак получается при электротермической возгонке фосфора из фосфорита кальция в присутствии кокса и кремнезема по реакции:



Состав сырьевых материалов и технологические параметры производства обуславливают получение гранулированных шлаков, состоящих, в основном, из метасиликатного стекла. В таблице приведен химический состав среднемесячных проб шлаков за год работы завода, а также пробы шлака, отобранные нами для исследований.

Постановка задачи. Как видно из анализов, шлаки обладают сравнительно постоянным составом. Они состоят, в основном, из CaO и SiO₂ (около 90 %), отличаются низким содержанием глинозема и повышенным количеством фосфорного ангидрида и фтора, не входящими в состав доменных шлаков. Содержание в них P₂O₅, как правило, не превышает 2 %, доходя в отдельных пробах до 2,5 %.

Фосфорный шлак заводской грануляции содержит фракции менее 3 мм и представлен в виде шероховатого, хрупкого, пескообразного материала серого цвета, в котором видны также зерна белого цвета.

В шлифе шлака под микроскопом наблюдается бесцветное стекловатое вещество с мельчайшими включениями кристаллов размером не более 3–4 микрон. Стекло трещиноватое; по трещинам наблюдаются поляризующие кристаллические выделения. Кроме того, в стекле видны отдельные вкрапления, резко отличающиеся от стекла либо плеохроизмом, либо высоким показателем светопреломления, а также отмечаются отдельные зерна, состоящие из магнетика. Для характеристики пробы были исследованы пескообразные зерна, различные по своей окраске.

Решение задачи. Зерна серого цвета. Этот пескообразный материал представлен двумя фазами:

а) стекловидная фаза — бесцветное стекло, имеет показатель преломления $1,600 \pm 0,002$ и составляет около 85–90 % всей пробы;

б) кристаллическая фаза. Основным минералом, включенным в стекловидную массу, является псевдоволластонит, у которого кристаллы представлены в виде бесцветных призматических или волокнистых индивидуумов, имеющих прямое угасание. Показатель светопреломления Ng — 1,650; Np — 1,610. Кристаллы одноосные. Судя по оптическим свойствам, они принадлежат α — псевдоволластониту. Содержание последнего в стекле — около 10 %. В ассоциации с псев-

доволастонитом в стекле содержатся отдельные зерна, имеющие игольчатую или пластинчатую форму. Часто они развиваются в виде агрегатов, имеющих радиально-лучистое строение. Зерна обладают слабым плеохроизмом, угасание их прямое. Показатель преломления N_g — 1,630; N_p — 1,600.

Двупреломление невысокое. Иногда заметны фиолетовые интерференционные окраски. Описанные кристаллы принадлежат окерманиту. Размеры зерен окерманита — до 0,01 и реже — до 0,04 мм в длину. Содержание окерманита — около 2–3 %.

Таблица. Химический состав фосфорных шлаков

Год отбора	Месяц пробы	Содержание окислов, %										Модуль	
		P ₂ O ₅	F	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	R ₂ O	сумма	основности	активности
2020	апрель	0,96	2,08	46,10	3,73	42,08	3,75	0,70	0,96	–	100,36	1,08	0,08
	май	1,74	2,28	43,10	3,38	44,20	3,28	0,35	1,00	–	99,75	1,05	0,08
	июнь	1,50	2,50	46,60	2,40	42,20	3,90	0,70	0,90	–	100,70	1,06	0,09
	июль	0,51	1,82	45,55	1,92	43,97	4,11	0,78	1,16	–	99,82	0,90	0,09
	август	1,55	2,35	45,96	1,60	42,88	3,80	0,41	1,00	–	99,55	1,04	0,08
	сентябрь	1,55	2,50	44,84	0,80	45,66	3,80	0,82	0,42	–	100,39	0,90	0,08
	октябрь	1,53	2,65	44,18	1,60	46,50	2,95	0,82	0,40	–	100,63	0,93	0,06
	ноябрь	0,98	2,47	45,80	3,50	41,70	3,20	0,58	0,90	–	99,13	1,10	0,07
2021	декабрь	1,26	1,95	43,22	3,78	44,40	3,20	0,78	–	–	98,59	0,99	0,07
	январь	1,58	2,00	45,44	3,18	42,90	0,96	0,58	–	–	98,64	1,00	0,07
	февраль	1,48	2,25	44,60	3,20	42,96	2,80	0,62	–	–	97,61	1,04	0,06
	март	1,42	1,95	45,17	3,56	42,68	2,88	0,58	–	–	98,34	1,06	0,07
2022	апрель	1,28	1,82	47,66	3,20	42,62	3,48	0,41	–	–	100,47	1,10	0,08
	июнь	2,53	0,84	43,68	1,40	45,25	3,66	0,51	0,11	1,07	100,05	0,94	0,08

По трещинам стекла наблюдаются резкие полукристаллические образования, окрашенные в коричнево-бурый цвет с суммарным показателем светопреломления 1,510–1,520. Такие образования, по-видимому, получаются в результате частичной кристаллизации стекла. Они близки одному из видов модификации кварца.

Зерна белой окраски. Этот пескообразный материал состоит из бесцветного стекла, в котором видны псевдоволастонит, кальцит и мелкозернистые агрегированные частички. Содержание стекла — около 80–85 %. Показатель светопреломления стекла в этих зернах несколько больше, чем у стекла зерен серого цвета.

Псевдоволастонит, так же, как и в предыдущей пробе, представляет α — модификацию. Мелкозернистые агрегированные частички слегка окрашены в коричнево-бурый цвет и имеют суммарный показатель светопреломления 1,510–1,520. Двупреломление очень низкое. Кальцит представлен в виде мелких бесцветных зерен размерами до 0,04 мм. Показатель светопреломления зерен кальцита N_o — 1,650–1,660; N_e — 1,480–1,490. Двупреломление очень высокое. Содержание кальцита в пробе 10–15 %.

Растворимое стекло (натриевое) — технический продукт, состоящий из окислов натрия и кремния. По физическому состоянию оно разделяется на следующие разновидности:

а) силикат-глыба — стеклообразный щелочной силикат, состав которого выражается формулой $Na_2O \cdot mSiO_2$, где величина m соответствует молярному отношению $SiO_2:Na_2O$ и называется кремнеземистым модулем щечного силиката;

б) жидкое стекло — водный раствор щелочного силиката. Его состав может быть выражен формулой $Na_2O \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$, в которой n соответствует количеству молекул воды, приходящихся на молекулу силиката.

Жидкое стекло, используемое в наших исследованиях, характеризовалось кремнеземистым модулем в пределах 1,50–2,50 и удельным весом 1,05–1,30 г/см³. Жидкое стекло заданного удельного веса и модуля получали путем добавки к жидкому стеклу изделий бытовой химии, характеризующему удельным весом 2,45–2,55 г/см³ и кремнеземистым модулем 2,60–2,75, расчетного количества едкого натра и воды.

Для исследований было использовано несколько разновидностей типичных грунтов районов лесозаготовок. Во из-

бежание влияния химико-минералогического состава грунты, используемые в наших исследованиях, были приготовлены искусственным путем, главным образом, из двух разновидностей грунтов. В качестве исходных грунтов были взяты: тяжелая пылеватая супесь, не содержащая гумусовых веществ с пределом текучести 29, и пылеватый песок с пределом текучести 13. Добавлением к пылеватому песку тяжелой пылеватой супеси была приготовлена легкая супесь. И добавлением к легкой супеси чистого кварцевого песка была приготовлена легкая крупная супесь.

Таким образом, было получено несколько разновидностей грунтов, различных по гранулометрическому составу, при этом тонкодисперсная часть таких грунтов изменялась в количественном отношении, а в качественном характеризовалась однотипным минералогическим и химическим составом.

Для изучения взаимодействия фосфорного шлака с жидким стеклом были синтезированы стекла системы $CaO:SiO_2:P_2O_5$ с различными добавками пятиоксида фосфора. Для синтеза были использованы химически чистые реактивы: $CaCO_3$, безводная кремниевая кислота, $CaHPO_3$, которые отбирали для различных стекол в стехиометрическом соотношении и смешивали в шаровой мельнице в течение 4 ч. Затем из смеси формовали цилиндры диаметром и высотой 5 см. Количество воды затворения составляло 10–15 % от веса. Образцы формовали под нагрузкой 100 кг/см². Приготовленные образцы обжигали при температуре 1 450 °С в течение 3 ч. После обжига образцы охлаждали водой, а затем измельчали. Полученный порошок снова затворяли водой и из него изготавливали образцы. Такой цикл повторяли дважды. После второго цикла образцы расплавляли с помощью ацетиленовых горелок. Расплавленная масса по каплям падала в холодную воду, в результате этого происходила грануляция продукта. Такая технология позволила полностью исключить кристаллическую фазу в синтезированных стеклах.

Готовый продукт проверяли на содержание свободной извести этилоглицератным способом и микроскопическим методом. Стекло с содержанием одного процента P_2O_5 обозначено № 1, в стекло № 2 входит 2 % P_2O_5 , в стекло № 3 — 3 % P_2O_5 .

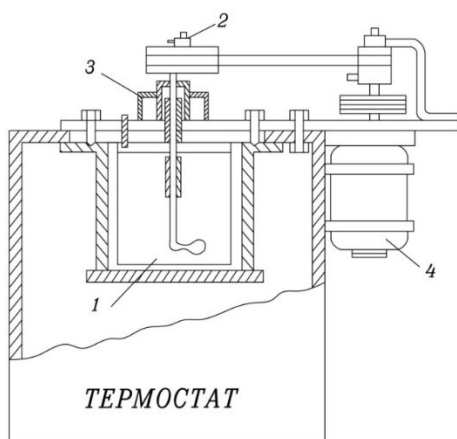


Рис. Общий вид реакционного сосуда: 1 — стеклянный стаканчик; 2 — мешалка; 3 — ртутный затвор; 4 — электромотор

Исследования проводили в реакционном сосуде, общий вид которого представлен на рисунке. Фосфорный гранулированный шлак и фосфорсодержащие стекла, полученные вышеуказанным способом, измельчали до полного прохождения через сито № 085 (4 900 отв/см²). Жидкое стекло, используемое для исследований, характеризовалось кремнеземистым модулем 1,80 и удельными весами 1,036; 1,16 и 1,26 г/см.

Часть опытов выполняли на дистиллированной воде, которая была предварительно освобождена от углекислого газа путем кипячения.

Литература

- Бурмистров Д.В. Методика определения влияния природных факторов на стоимость строительства земляного полотна лесовозных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 2 (30). С. 179-184.
- Гусев Ю.В. Проектирование структуры информационного обеспечения лесовозного автомобильного транспорта // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2016. № 217. С. 131-141.
- Зеликова Ю.А. Комплексные экспериментальные исследования изменения параметров и характеристик дорожных условий, транспортных потоков и режимов движения под влиянием климата и погоды // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8, № 2 (30). С. 156-168.
- Камусин А.А. Исследования по использованию укрепленных грунтов, местных материалов и отходов промышленности для строительства дорожных одежд лесовозных дорог. Saint-Louis, Missouri, USA: Science and Innovation Center Publishing House, 2017. 184 p.
- Козлов В.Г. Влияние погодно-климатических факторов на системы комплекса «водитель - автомобиль - дорога - среда» // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2019. № 1. С. 30-36.
- Котляров Р.Н. Теоретическое обоснование условий безопасности движения лесовозных автопоездов в автомобильных потоках // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 41-44.
- Логойда В.С. Методологическое обоснование особенностей проектирования трассы по методу опорных элементов // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-1. С. 62-68.
- Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Оценка влияния на скорость движения постоянных параметров плана и профиля при различных состояниях поверхности дороги // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2017. Т. 21, № 6. С. 43-49.
- Рябова О.В. Воздействие автодорожного комплекса на окружающую среду: состояние и прогноз // Науч. вестн. Воронежского ГАСУ. Материалы межрегион. науч.-практической конф. «Высокие технологии в экологии». 2010. № 1. С. 170-174.
- Рябова О.В. Проектирование энергосберегающих конструкций автомобильных дорог // Информационные технологии моделирования и управления. 2008. № 1 (44). С. 106-113.
- Сиденко В.М., Батраков О.Т., Леушин А.И. Технология строительства автомобильных дорог. Технология строительства дорожных одежд. Киев: Вища школа, 1970. Ч. 2. 230 с.
- Чудинов С.А. Повышение эффективности инженерно-геодезических изысканий при проектировании лесовозных дорог // Модернизация и науч. исследования в транспортном комплексе. 2020. Т. 1. С. 359-363.

Опыты проводили следующим образом. Отмеренный объем жидкого стекла или дистиллированной воды помещали в стеклянный стаканчик 1 и выдерживали при заданной температуре в течение 15 мин, после чего туда высыпали измельченный фосфорный гранулированный шлак и включали мешалку. Начало опыта считали с момента пуска мешалки. Через определенное время мешалку останавливали; суспензию отстаивали в течение 5 мин, после этого отбирали пробу, которую фильтровали с помощью вакуумного насоса через воронку Бюхнера. О степени разложения в фильтре СаО; при взаимодействии шлака фосфорсодержащих стекол с водой — по содержанию в фильтре СаО и SiO₂.

Выводы. Во всех опытах соблюдали постоянное отношение твердой и жидкой фаз, равное 1:20. Максимальная продолжительность опыта составляла 3 ч. Опыты проводили при температуре 20±0,5 °С.

Измельченный шлак и стекла затворяли жидким стеклом с удельным весом 1,036 и 1,26 г/см³. Образцы изготавливали размером 1х1х3 см. Стеклошлаковое отношение во всех опытах равнялось 0,32. Укладку приготовленной смеси в форм производили путем штыкования в два слоя. После этого форму с массой встряхивали 30 раз на лабораторном встряхивающем столике и помещали в камеру с водой. Через 20 ч образцы освобождали из форм и помещали во влажные условия (в эксикатор над водой) на 7 и 28 суток. После окончания опытов образцы испытывали на приборе Кюля на прочность при изгибе, а затем из их половинок выпиливали кубики размерами 1х1х1 см, которые испытывали на сжатие. Внутреннюю часть образцов измельчали и подвергали терморентгенографическому исследованию. Для расшифровки термо- и рентгенограмм использовали труды по термографии и рентгенографии.

- Cantarella G.E., Pavone G., Vitetta A. Heuristics for urban road network design: Lane layout and signal settings // European J. of Operational Research. 2006. V. 175 (3). P. 1682-1695.
- Chen Z., He F., Yin Y., Du Y. Optimal design of autonomous vehicle zones in transportation networks // Transportation Research. Part B: Methodological. 2017. V. 99. P. 44-61.
- Chernyshova E.V., Mogutnov R.V., Levushkin D.M. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. 2018. № 1015 (3).
- Fedotov A.I., Tikhov-Tinnikov D.A., Ovchinnikova N.I., Lysenko A.V. Simulation of car movement along circular path // Innovations and prospects of development of mining machinery and electrical engineering - Mechanical engineering. Institute of Physics Publishing, 2017. P. 082018.
- Gulevsky V.A., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of individual forecasting of technical state of logging machines // Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 327 (4).
- Logoyda V.S., Tikhomirov P.V., Zelikov V.A., Brovchenko A.D., Razgonyeva V.V. Development of the method for individual forecasting of technical state of logging machines // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. № 8 (5). P. 2178-2183.
- Dorokhin S.V., Chernyshova E.V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12, № 2. P. 511-515.
- Sushkov S.I., Kruchinin I.N., Grigorev I.V., Nikiforov A.A., Timokhova O.M. Enhancing quality of road pavements through adhesion improvement // Journal of the Balkan Tribological Association. 2019. № 25 (3). P. 678-694.

References

- Burmistrov D.V. Technique for determining the influence of natural factors on the cost of construction for the roadbed of logging roads // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2016. № 2 (30). P. 179-184.
- Gusev YU.V. Designing the structure of information support of the road transport hauling // Izvestia SPbLTA. 2016. № 217. P. 131-141.
- Zelikova YU.A. Comprehensive experimental research of changing parameters and characteristics of road conditions, transport flows and motion modes under influence of climate and weather // Forestry Engineering Journal. 2018. V. 8, № 2 (30). P. 156-168.
- Kamusin A.A. Research on the use of reinforced soils, local materials and industrial waste for the construction of road coverings of logging roads. Saint-Louis, Missouri, USA: Science and Innovation Center Publishing House, 2017. 184 p.

5. Kozlov V.G. The influence of weather and climatic factors on the systems of the driver-car-road-environment complex // Transport. Transport facilities. Ecology. 2019. № 1. P. 30-36.
6. Kotlyarov R.N. Theoretical substantiation of the safety conditions for the movement of logging road trains in automobile flows // Forestry Engineering Journal. 2011. № 2. P. 41-44.
7. Logojda V.S. Methodological features of the alignment design according to the method of reference elements // Fundamental research. 2016. № 12-1. P. 62-68.
8. Lomakin D.V., Mikova E.YU. Assessment of the impact on the speed of the constant parameters of the plan and profile in the various states of the road surface // Forestry Bulletin. 2017. V. 21, № 6. P. 43-49.
9. Ryabova O.V. The impact of the road complex on the environment: state and forecast // Russian Journal of Building Construction and Architecture. Materialy mezhhregional. nauch.-prakt. konf. «Vysokie tekhnologii v ekologii». 2010. № 1. P. 170-174.
10. Ryabova O.V. Design of energy-saving structures of highways // Informacionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya. 2008. № 1 (44). P. 106-113.
11. Sidenko V.M., Batrakov O.T., Leushin A.I. Technology of road construction. Technology of construction of road clothes. Kiev: Vishcha shkola, 1970. CH. 2. 230 p.
12. CHudinov S.A. Improving the efficiency of engineering and geodetic surveys in the design of logging roads // Modernizaciya i nauch. issledovaniya v transportnom komplekse. 2020. V. 1. P. 359-363.
13. Cantarella G.E., Pavone G., Vitetta A. Heuristics for urban road network design: Lane layout and signal settings // European J. of Operational Research. 2006. V. 175 (3). P. 1682-1695.
14. Chen Z., He F., Yin Y., Du Y. Optimal design of autonomous vehicle zones in transportation networks // Transportation Research. Part B: Methodological. 2017. V. 99. P. 44-61.
15. Chernyshova E.V., Mogutnov R.V., Levushkin D.M. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. 2018. № 1015 (3).
16. Fedotov A.I., Tikhov-Tinnikov D.A., Ovchinnikova N.I., Lysenko A.V. Simulation of car movement along circular path // Innovations and prospects of development of mining machinery and electrical engineering - Mechanical engineering. Institute of Physics Publishing, 2017. P. 082018.
17. Gulevsky V.A., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of individual forecasting of technical state of logging machines // Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 327 (4).
18. Logoyda V.S., Tikhomirov P.V., Zelikov V.A., Brovchenko A.D., Razgonyeva V.V. Development of the method for individual forecasting of technical state of logging machines // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. № 8 (5). P. 2178-2183.
19. Dorokhin S.V., Chernyshova E.V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12, № 2. P. 511-515.
20. Sushkov S.I., Kruchinin I.N., Grigorev I.V., Nikiforov A.A., Timokhova O.M. Enhancing quality of road pavements through adhesion improvement // Journal of the Balkan Tribological Association. 2019. № 25 (3). P. 678-694.

УДК 625.7/.8

DOI: 10.18324/2077-5415-2023-4-192-195

Использование фосфорных гранулированных шлаков для приготовления вяжущих веществ при строительстве лесовозных автомобильных дорог

И.А. Викулин

Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина,
ул. Старых Большевиков, 54а, Воронеж, Россия
ilona.savchenko.2016@mail.ru

Статья поступила 26.09.2023, принята 20.11.2023

Одним из эффективных материалов, используемых в композиционных вяжущих, считают тонкомолотый гранулированный шлак. Данный материал достаточно хорошо изучен в виде активной добавки в цементы. Известно, что для производства шлаковых цементов можно применять основные и кислые шлаки, богатые глиноземом. Определена целесообразность применения шлаков в составе комплексных вяжущих и обоснованы рациональные условия активации шлаков с целью получения шлаковых вяжущих. Предложены составы композиционных строительных вяжущих с использованием фосфорных гранулированных шлаков.

Ключевые слова: фосфорные гранулированные шлаки; лесовозные автомобильные дороги; вяжущие вещества.

Use of phosphorus granulated slags for the preparation of binders in the construction of logging roads

I.A. Vikulin

Air Force Academy named after N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin; 54a, Starykh Bolshevikov St., Voronezh, Russia
ilona.savchenko.2016@mail.ru

Received 26.09.2023, accepted 20.11.2023

One of the effective materials used in composite binders is considered to be finely ground granulated slag. This material has been studied quite well as an active additive in cements. It is known that basic and acidic slags rich in alumina can be used for the production of slag cements. The feasibility of using slags as part of complex binders has been determined and rational conditions for activating slags in order to obtain slag binders have been substantiated. Compositions of composite construction binders using phosphorus granulated slags have been proposed.

Keywords: phosphorus granulated slag; logging roads; binders.