**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 3, 2016
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>**

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.01

УДК 624.131.22

ШЛАКОЩЕЛОЧНЫЕ ВЯЖУЩИЕ В ОСНОВАНИЯХ ДОРОГ

А.В. Чазов¹, С.А. Соколов²

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

² Пермский проектный институт нефти и газа, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 16 марта 2016

Принята: 27 апреля 2016

Опубликована: 30 сентября 2016

Ключевые слова:

основания дорог, вяжущие, сроки схватывания, химические добавки, отрицательная температура

АННОТАЦИЯ

Освоение новых материалов связано с решением различных проблем. Рассматриваются вопросы использования шлакощелочных вяжущих в основаниях дорог при изменении различных факторов в процессах твердения смеси. Применение шлаков позволяет снизить затраты на строительство дорог за счет использования местных ресурсов и снижения транспортных расходов. Кроме того, уменьшается вредное воздействие на окружающую среду. Использование шлаков также позволяет укрепить различные грунты в основаниях дорог. При этом необходимо учитывать, как происходит твердение шлакощелочных вяжущих в зависимости от температуры. На процесс твердения также оказывают влияние различные химические добавки. На практике установлено, что возможно применение шлакощелочных вяжущих при строительстве дорог в зимних условиях, при этом необходимо учитывать, что вяжущие смеси затворяются не водой, а водными растворами соединений щелочных металлов.

© ПНИПУ

© Чазов Александр Вениаминович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: spstf@pstu.ru.

Соколов Станислав Алексеевич – старший инженер, e-mail: spstf@pstu.ru.

Aleksandr V. Chazov – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: spstf@pstu.ru.

Stanislav A. Sokolov – Senior Engineer, e-mail: spstf@pstu.ru.

SLAG-ALKALINE BINDERS IN ROAD BASE

A.V. Chazov¹, S.A. Sokolov²

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

² Perm Design Institute of Oil and Gas, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 16 March 2016
Accepted: 27 April 2016
Published: 30 September 2016

Keywords:

road base, binder, setting time,
chemical additives, negative
temperature

ABSTRACT

The development of new materials involves various problems. The article examines the use of slag binders in road foundations when changing various factors in the processes of hardening of the mixture. The use of slag reduces the cost of road construction due to primeneniya local resources and reduce transportation costs. In addition, reduced harmful impact on the environment. The use of slag also allows you to strengthen various soils in the road base. It is necessary to consider how the hardening slag binders depending on the temperature. Also, the hardening process is influenced by various chemical additives. In practice ustanovleno that perhaps the use of slag binders in road construction in winter conditions, it is necessary to consider that binders, semi shut not water, and aqueous solutions of compounds of alkali metals.

© PNRPU

Интенсификация производства и решение социальных проблем Пермского края невозможны без развития сети автомобильных дорог. Однако интенсивное строительство дорог требует развития промышленности по производству шлакощелочных вяжущих.

Замена шлаками цемента, щебня и минерального порошка, на изготовление которых расходуется большое количество материальных и энергетических ресурсов, сопровождается резким снижением расхода топлива, электроэнергии и трудовых затрат на единицу строительной продукции. Многолетний опыт дорожных организаций показывает, что себестоимость шлаковых дорожно-строительных материалов намного ниже себестоимости аналогичной продукции и естественных горных пород.

Применение шлаков в дорожном строительстве позволяет:

- улучшить условия охраны окружающей среды;
- рационально использовать местные сырьевые ресурсы;
- снизить потребность в транспорте, в том числе в железнодорожном.

В Пермском национальном исследовательском политехническом университете в течение ряда лет проводились работы по практическому использованию шлакощелочных вяжущих в дорожном строительстве. Установлено, что доменные молотые шлаки, активизированные щелочным компонентом, обладают высокой активностью, а грунты, укрепленные на их основе, – высокой прочностью. Более того, укрепление грунтов вяжущим на основе доменных шлаков имеет практическую ценность, так как шлаки позволяют укреплять грунты от полевых песков до отдельных видов глин [1–4].

В частности, исследовались вопросы зависимости колебаний температуры среды и сроков схватывания шлакощелочных вяжущих. Как установлено, сроки схватывания минеральных вяжущих веществ существенно зависят от температурных условий твердения. Это играет решающую роль в технологии приготовления и укладки шлакогрунтовых смесей в основания дорог [4].

Основная проблема в технологии зимнего бетонирования – оптимизация сроков схватывания исследуемых смесей как при положительных, так и при отрицательных температурах.

Сроки схватывания шлакощелочного вяжущего (ШЩВ) определяются скоростью процесса структурообразования. Следовательно, основная задача – управление сроками схватывания в зависимости от вида шлакощелочного вяжущего и температуры среды твердения (табл. 1).

Таблица 1

Влияние удельной поверхности, температуры и плотности затворителя
на сроки схватывания шлакощелочного вяжущего

Table 1

Influence of the specific surface area, temperature and density
of a mixing setting time slag-alkaline binder

Плотность затворителя ρ , г/см ³	Температура среды T , °C	$S = 380 \text{ м}^2/\text{кг}$				$S = 560 \text{ м}^2/\text{кг}$			
		Температура затворителя T , °C							
		20		50		20		50	
		Начало, ч-мин	Конец, ч-мин	Начало, ч-мин	Конец, ч-мин	Начало, ч-мин	Конец, ч-мин	Начало, ч-мин	Конец, ч-мин
1,16	10	3-15	7-20	2-41	6-45	2-40	6-25	2-10	5-45
	20	2-10	4-30	1-43	4-15	2-15	3-50	1-27	4-40
	30	1-35	2-41	0-46	2-51	1-21	3-00	0-40	2-38
	40	0-48	2-20	0-41	1-30	0-45	1-40	0-21	1-00
	50	0-30	1-10	0-20	0-50	0-46	0-40	0-17	0-35
1,20	10	2-40	6-18	1-42	5-05	2-23	5-10	1-08	4-24
	20	2-20	4-34	1-40	4-25	1-32	4-25	0-54	3-10
	30	1-26	2-30	1-00	2-06	1-00	2-10	0-46	1-35
	40	0-28	1-21	0-36	1-18	0-40	1-13	0-26	0-45
	50	0-20	0-40	0-15	0-42	0-15	0-50	0-24	0-31
1,24	10	2-13	4-40	1-20	4-30	2-00	3-50	0-54	3-50
	20	1-40	4-20	1-10	3-40	1-13	4-00	0-40	3-00
	30	0-34	2-15	1-00	2-15	1-04	1-45	0-30	1-10
	40	0-28	1-00	0-30	0-48	0-48	1-10	0-21	0-48
	50	0-27	0-41	0-16	0-30	0-15	0-35	0-16	0-38

Исследования вяжущих проводили на тесте нормальной густоты, приготовленном на смеси щелочей с плотностью¹ $\rho = 1,16; 1,20; 1,24 \text{ г/см}^3$. Согласно табл. 1 наиболее короткие сроки схватывания – при плотности затворителя $\rho = 1,24 \text{ г/см}^3$, с уменьшением плотности до $1,14 \text{ г/см}^3$ сроки значительно удлиняются.

Увеличение удельной поверхности шлака приводит к сокращению сроков схватывания. Наибольшее влияние на сроки схватывания оказывает температурный фактор. Для выявления влияния температуры на сроки схватывания молотый шлак подогревом доводим до температуры +50 °C (см. табл. 1).

Наиболее приемлемой по технологическим требованиям и срокам схватывания шлакощелочного вяжущего является температура до +20 °C.

С целью регулирования сроков схватывания шлакощелочного вяжущего использовались следующие химические добавки: Na_2CO_3 , K_2CO_3 , NaF и лингосульфат технический (ЛСТ) (табл. 2).

¹ ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости – М., 1996; ГОСТ 19912–2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – М.: МНТКС, 2001; ГОСТ 20276–99. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: МНТКС, 1999.

Таблица 2

Сроки схватывания ШЩВ с химическими добавками

Table 2

The setting time of the slag-alkaline binders with chemical additives

Плотность затворителя ρ , г/см ³	Химическая добавка, в % от массы шлака	Температура затворителя T , °C			
		20		50	
		Начало, ч-мин	Конец, ч-мин	Начало, ч-мин	Конец, ч-мин
Na ₂ CO ₃					
1,16	0,05	0-52	1-08	0-23	0-50
	0,1	1-05	1-23	0-36	1-15
	0,5	1-17	1-49	2-56	1-55
1,20	0,05	0-43	0-57	0-25	0-39
	0,1	0-56	1-18	0-35	0-55
	0,5	1-06	1-50	0-50	1-23
1,24	0,05	0-41	1-08	0-11	0-36
	0,1	0-51	1-24	0-23	0-42
	0,5	1-07	1-54	0-42	1-05
NaF					
1,16	0,05	1-06	1-48	0-55	1-38
	0,1	0-27	2-27	1-15	2-30
	0,5	2-52	5-17	1-56	3-28
1,20	0,05	0-58	2-08	0-48	1-22
	0,1	1-20	2-10	1-04	2-12
	0,5	2-28	4-28	1-25	2-49
1,24	0,05	0-53	1-28	0-45	1-15
	0,1	1-15	1-53	0-55	1-25
	0,5	1-51	3-13	1-05	2-15
K ₂ CO ₃					
1,16	0,05	1-04	1-52	0-54	1-58
	0,1	1-23	2-02	1-07	1-50
	0,5	1-36	2-11	1-16	2-29
1,20	0,05	1-02	1-40	0-52	1-35
	0,1	1-07	1-48	0-58	1-14
	0,5	1-18	1-58	1-05	2-05
1,24	0,05	0-55	1-10	0-45	1-25
	0,1	1-05	1-24	0-53	1-36
	0,5	1-10	1-43	0-58	1-58
ЛСТ					
1,16	0,05	1-35	2-23	0-52	2-00
	0,1	2-25	3-05	1-11	2-24
	0,5	5-22	7-02	2-25	5-10
1,20	0,05	1-05	1-42	0-50	1-50
	0,1	2-04	2-54	0-55	2-15
	0,5	5-10	6-58	2-10	4-55
1,24	0,05	0-58	1-32	0-41	1-30
	0,1	1-35	2-07	0-46	2-04
	0,5	4-40	6-35	2-05	4-35

Исследования показали, что химические добавки Na₂CO₃, K₂CO₃, NaF, вводимые в шлакощелочное тесто в количестве от 0,05 до 0,1 % от массы шлака, не удлиняют сроки схватывания (см. табл. 2). Наилучшие результаты достигаются при введении NaF в коли-

честве 0,5 % от массы шлака. Сроки схватывания при этом удлиняются более чем в два раза при равных условиях с контрольным составом без добавок.

В целом процессы твердения шлакощелочного вяжущего при температуре ниже 0 °С показали, что интенсивность процесса зависит от плотности и температуры затворителя, а также от удельной поверхности шлака. При понижении температуры до $T = 20$ °С сроки схватывания шлакощелочного вяжущего на растворах смеси щелочей с $\rho = 1,20$ г/см³ существенно удлиняются. Анализируя влияние раннего замораживания на интенсивность роста прочности шлакощелочного камня, установлено, что при низких температурах интенсивность твердения замедляется, но не прекращается, и с повышением температуры до положительного знака прочность шлакощелочного камня растет [5–8].

При использовании этой особенности шлакощелочных вяжущих появляется возможность ведения дорожно-строительных работ в зимних условиях. Важной особенностью является то, что вяжущие смеси затворяются не водой, водными растворами соединений щелочных металлов, температура замерзания которых значительно ниже 0 °С [2, 3]. Результаты исследований использовались при строительстве автодороги Савочкины ключи – Грань Большесосновского района Пермского края [4].

Проводимые в дальнейшем опытные работы на конструктивных слоях дорожных одежд подтвердили как техническую, так и экономическую целесообразность применения в основаниях дорог местных материалов, укрепленных шлакощелочными вяжущими.

Библиографический список

1. Чазов А.В. Процессы твердения шлакогрунтов и технология устройства оснований дорог при положительных и отрицательных температурах: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 1997. – 130 с.
2. Чазов А.В., Шишмакова М.С. Шлакощелочные материалы в дорожном строительстве // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 114–117.
3. Ростовская Т.С. Исследование грунтосиликатных бетонов на основе вяжущих, содержащих глинистые компоненты: дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1998. – 140 с.
4. Применение шлакощелочных материалов в дорожном строительстве / Б.С. Баталин, А.В. Чазов [и др.] // Пермские строительные ведомости. – 1997. – № 2. – С. 10–13.
5. Трофименков Ю.Г. Статистическое зондирование грунтов в строительстве (зарубежный опыт). – М.: Изд-во ВНИИНТПИ, 1995. – 127 с.
6. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
7. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: АСВ, 2014. – 728 с.
8. Гольдфельд И.З., Смирнова Е.А. Взаимосвязь показателей статистического зондирования грунтов установками первого и второго типов // Геотехника. – 2012. – № 2. – С. 4–13.

References

1. Chazov A.V. Protsessy tverdeniia shlakogrunтов i tekhnologiiia ustroistva osnovanii dorog pri polozhitel'nykh i otritsatel'nykh temperaturakh [The curing process slag ground and technology of the device bases of roads at positive and negative temperatures]. Perm', 1997. 130 p.

2. Chazov A.V., Shishmakova M.S. Shlakoshchelochnye materialy v dorozhnom stroitel'stve [Slag materials in road construction]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2012, no. 1, pp. 114-117.
3. Rostovskaia T.S. Issledovanie gruntoselikatnykh betonov na osnove viazhashchikh, sodershashchikh glinistykh komponenty [The study of grantseeking concretes based on binders containing clay component]. Kiev, 1998. 140 p.
4. Batalin B.S., Chazov A.V. Primenenie shlakoshchelochnykh materialov v dorozhnom stroitel'stve [The use of slag materials in road construction]. *Permskie stroitel'nye vedomosti*, 1997, no. 2, pp. 10–13.
5. Trofimenkov Iu.G. Statisticheskoe zondirovanie gruntov v stroitel'stve (zarubezhnyi opyt) [Statistic sounding of soils in construction (foreign experience)]. Moscow: VNIINTPI, 1995. 127 p.
6. Tsytovich N.A. Mekhanika gruntov [Soil mechanics]. Moscow: Vysshaia shkola, 1983. 288 p.
7. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniia, fundamenty i podzemnye sooruzheniia [Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. Eds. by V.A. Il'ichev, R.A. Mangushev. Moscow: Assotsiatsia stroitel'nykh vuzov, 2014. 728 p.
8. Gol'dfel'd I.Z., Smirnova E.A. Vzaimosviaz' pokazatelei statisticheskogo zondirovaniia gruntov ustanovkami pervogo i vtorogo tipov [The relationship of indicators of the statistical sensing of soil units of the first and second types]. *Geotekhnika*, 2012, no. 2. pp. 4-13.