

УДК 625.768.5-033.3

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ЦЕМЕНТОБЕТОНА И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Евгения Юрьевна Подъяпольская, магистр,
ФАУ «РосдорНИИ», Россия, 125493, Москва, Смольная ул., 2, chepolinka17@mail.ru

Сергей Михайлович Дмитриев, канд. техн. наук,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, dmitrsmist@mail.ru

Долженков Владислав Аркадьевич, магистр,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, vladofem@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассмотрены характеристики электропроводящего цементобетона и предложены методы применения данного материала при строительстве «теплых дорог». Подогреваемое покрытие предлагается использовать для ускоренной утилизации снега и льда при осуществлении зимнего содержания дорог и улиц. Рекомендуемая технология поможет снизить стоимость наиболее дорогих операций зимней уборки – погрузки, вывоза и плавления снежной массы. Авторами были экспериментально подобраны стабильные составы рассматриваемого материала с различным содержанием компонента-проводника. Для определения возможности применения электропроводящего цементобетона в качестве дорожно-строительного материала, проведено определение прочности изготовленных образцов. Приведены варианты состава разработанного цементобетона с добавкой углерода, результаты испытаний на сжатие и на растяжение при изгибе, а также описано исследование электропроводности и возможности данного материала нагреваться.

Ключевые слова: «теплые дороги», цементобетон, зимнее содержание, утилизация снега, углерод, электропроводность.

ELECTROCONDUCTIVE CEMENT CONCRETE COMPOSITE DEVELOPMENT AND ITS APPLICATION IN THE ROAD INDUSTRY

Podiapol'skaya Eugenia Yu., Master of Science,
FAI «ROSDORNII», 2, Smolnaya str., Moscow, 125493, Russia, chepolinka17@mail.ru

Dmitriev Sergei M., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, dmitrsmist@mail.ru

Dolzhnikov Vladislav A., Master of Science,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, vladofem@gmail.com

Abstract. This article discusses electroconductive cement concrete characteristics and suggests methods for using this material in the "warm roads" construction. It is proposed to use the heated pavement for snow and ice accelerated utilization during roads and streets winter maintenance. Recommended technology will help reduce the most expensive winter cleaning operations cost - loading, transporting and melting of snow mass. The authors experimentally selected stable electroconductive concrete mixtures with different conductor component contents. To prove the possibility of using electroconductive cement concrete as a road-building material the strength of samples was determined. Developed cement concrete composition variants with carbon addition, the results of compression and tensile tests and study of concrete electrical conductivity and the ability of this material to heat up are described.

Key words: «warm roads», cement concrete, winter maintenance, snow utilization, carbon, electrical conductivity.

Актуальность темы. В силу климатических особенностей, необходимость очистки автомобильных дорог от снега и предотвращение образования зимней скользкости, в большем или меньшем объеме, актуальна для всей территории Российской Федерации. В настоящее время серьезной проблемой зимнего содержания, особенно в условиях городской улично-дорожной сети, является вывоз и утилизация снежной массы, сдвигаемой снегоуборочными машинами к краю проезжей части.

При снегопаде низкой интенсивности, дорожные службы, в основном, справляются с устранением его последствий, и, если скорость потока машин на дороге и снижается, то незначительно. При длительном и интенсивном снегопаде движение транспортных средств замедляется, работы по сгребанию и сметанию ведутся в ускоренном режиме. Техники достаточно, чтобы очистить от снежно-ледяных отложений (СЛО) проезжую часть, но с дальнейшей уборкой снежной массы возникают сложности. При текущей технологии зимнего содержания, снег складывается вдоль бортового камня, и впоследствии вывозится. Независимо от способа утилизации, вывоз - самая дорогая составляющая уборки. Сроки вывоза складированного на лотковых зонах и тротуарах снега составляют, к примеру, в г. Москва, от 2

до 6 дней в зависимости от категории улицы и интенсивности снегопада [1]. Но даже эти нормативы не всегда соблюдаются, и неубранная снежная масса остается на более долгий период. Связано это с огромными объемами выпадающего снега, трудностями при его погрузке и вывозе, ограниченной производительностью снегоплавильных станций. Следствием таких задержек является сужение проезжей части, так как после сгребания снега бордюру исключается целая полоса движения, увеличение плотности автомобилей и серьезные заторы в часы-пик. Использование более мощных коммунальных машин, уширение рабочих зон снегоуборочных отвалов, применение новых противогололедных материалов и открытие дополнительных снегоплавильных станций не может кардинально изменить технологию и скорость работ, а скорее всего, будет весьма дорогим без серьезного повышения эффективности.

Мировой опыт. В странах, расположенных в схожих с Россией климатических условиях, также присутствует необходимость бороться со снегом и льдообразованием на дорогах. Причем, в некоторых из них запрещено или серьезно ограничено применение химических реагентов. Поэтому, например, Исландия, Финляндия и Норвегия, а так же, в меньшей степени, США, Канада и Япония, используют для борьбы с гололедом «теплые» дороги. В случае с Исландией, под тротуарами прокладывают трубы с водой из горячих источников, с помощью которой поддерживается температура покрытия около 20°C и плавится выпадающий снег [2]. В Японии и Финляндии для этих целей используют электроподогрев

Таким образом, применяемые сейчас за рубежом технические решения основаны на устройстве в дорожной конструкции металлических закладных нагревательных элементов, или труб малого диаметра с циркулирующей горячей водой [3]. В предлагаемом авторами варианте подогрев дорожного покрытия сможет осуществляться более эффективно,

так как подогрев осуществляет непосредственно сам слой дорожной одежды.

В США в университете штата Небраска также ведутся работы в этом направлении [4]. Предлагаемый метод борьбы со снегом поможет эффективнее содержать проезжую часть и тротуары в свободном от снега и льда состоянии без привлечения большого количества снегоуборочной техники, а также работников коммунальных служб.

Лабораторные испытания. Авторами статьи были проведены лабораторные испытания, направленные на подбор оптимального состава цементобетонной смеси с добавлением электропроводного компонента. Определялись физико-механические свойства получившегося бетона, устанавливались технологические, электротехнические и термические параметры материала.

В ходе испытаний было необходимо выполнить несколько задач.

- Подобрать оптимальный состав электропроводящего цементобетона (ЭПЦБ) по критериям прочности и электропроводности.
- Определить физико-механические свойства получившегося материала, сопоставить их с требованиями нормативных документов [5].
- Проверить электропроводность материала и возможность его нагрева от электрического тока, в том числе при различном процентном содержании электропроводного компонента и изменении напряжения.

Было подобрано несколько составов цементобетонной смеси с различным содержанием технического углерода (табл. 1), наличие которого в цементобетоне и обеспечивает возможность проводимости электричества и нагрева материала. Однако, включение углерода в состав смеси может негативно сказываться на прочностных характеристиках цементобетона.

Таблица 1

Экспериментальные составы ЭПЦБ

Материал	Кол-во материала, %					
	Состав №1	Состав №2	Состав №3	Состав №4	Состав №5	Состав №6
Цемент М500	24,5	13	25	22,11	25	30
Технический углерод П-324	11	13,8	10	8,85	11	11
Песок	34,5	12	20	17,69	15	25
Гранитный щебень (М1400)	-	43,7	25	22,11	15	-
Вода	30	17,5	20	29,24	37	34

Как было определено натурным путем, технология замешивания смеси имеет специфику. Первоначально проводилось сухое перемешивание компонентов, в том числе углерода, и только потом добавлялась вода, которую данный материал требует достаточно много. Из подобранных составов формовались кубики 10х10х10 см и балочки 4х4х16 см, которые затем испытывались на сжатие и растяжение при изгибе (табл. 2).

Таблица 2

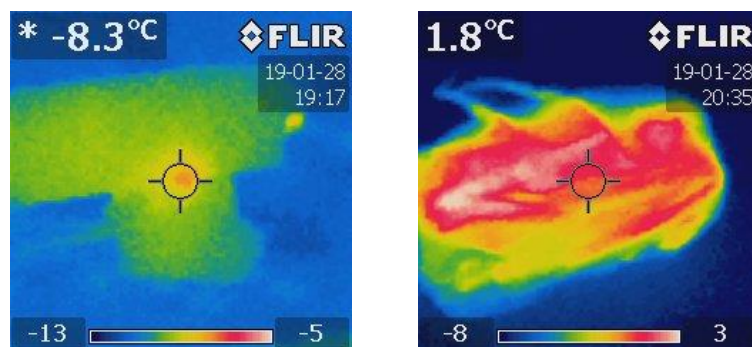
Результаты испытания на прочность

Состав	Вид испытания			
	Прочность на сжатие, МПа		Прочности на растяжение при изгибе, кгс/см ²	
	7 сутки	28 сутки	7 сутки	на 28 сутки
Состав №1	33	44,8	-	-
Состав №2	40	54,2	-	-
Состав №3	34	46,1	4,8	6,52
Состав №4	36	50,2	11	16
Состав №5	19	26	12	14
Состав №6	20	28	11	13,3

По результатам испытаний было выяснено, что образцы электропроводящего цементобетона сопоставимы с классом цементобетона по прочности на сжатие В35-В40, что доказывает возможность его применения в конструкции дорожных одежд в качестве слоя основания. При дальнейших исследованиях и совершенствовании состава, можно добиться использования данного материала и в верхних слоях покрытия. Но следует отметить, что необходимо будет добиться большей стабильности образцов по показателям прочности.

Для определения способности материала нагреваться от проводимого тока, изготовленные образцы испытывались в различных условиях:

1. При комнатной температуре (около $+20^{\circ}\text{C}$) проверялась принципиальная возможность нагрева образца. Ток подавался с аккумулятора 11,1В, при этом тепловизором был отмечен нагрев образца в точках контактов проводов с материалом.
2. На улице, при температуре окружающей среды -16°C , проверялась возможность нагрева материала до положительных температур при сильных морозах.
3. На улице, при предварительном выдерживании образцов в течение восьми часов при температуре окружающей среды -8°C . С подключением аккумулятора 11,1В, за полтора часа образец нагрелся до положительной температуры (рис. 1).

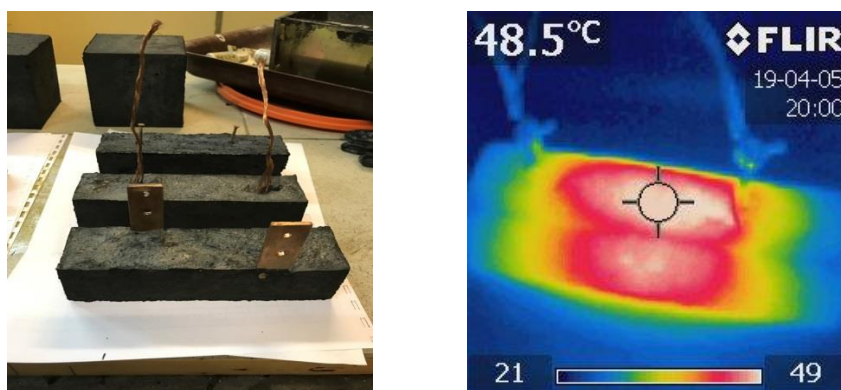


а)

б)

Рис 1. Термограмма прогрева образца выдержанного до начала испытаний в течение 8 часов при температуре -8°C : а - начало измерений; б – конец измерения

4. В помещении, при комнатной температуре, с помощью лабораторного блока питания с переменными параметрами, при подаче тока с напряжением 60 В (рис. 2).



а)

б)

Рис 2. Испытания образцов с помощью лабораторного блока питания: а – внедренные в образцы бетона контакты; б – нагрев образца при подведении тока

Результаты испытаний показали быстрый и равномерный нагрев от подаваемого электричества при обеспечении качественного контакта ЭПЦБ и проводника. Было установлено, что скорость нагрева образца зависит от количества технического углерода. Чем больше его процентное содержание, тем быстрее нагревается материал. Как видно по графику (рис. 3), состав с 13% углерода нагревается за 20 минут до 50°C . Однако, с учетом прочностных характеристик, рекомендуется состав с 10-11 % углерода.

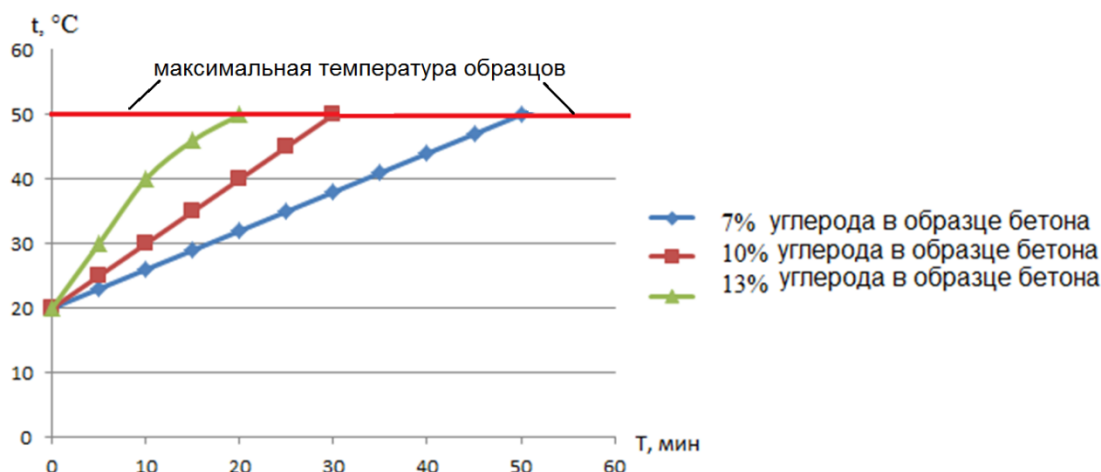


Рис.3 Скорость нагрева бетона с разным процентным содержанием углерода

Выводы

1. Прочностные характеристики полученного материала позволяют использовать его в конструктивных элементах автомобильных дорог и улиц.
 2. ЭПЦБ способен эффективно и равномерно нагреваться при подключении к источнику электрического тока.
 3. Скорость нагрева материала напрямую зависит от процентного содержания технического углерода в составе и от качества обеспечения электрического контакта.
 4. Оптимальное процентное содержание технического углерода в бетонной смеси по условиям прочности и способности нагрева составляет 10-11%.
 5. ЭПЦБ показал электробезопасность при лабораторных испытаниях, при расположении в слое дорожной одежды материал предполагается перекрывать сверху защитным слоем, кроме того нижележащие слои играют роль заземления.
- Исследуемый материал предлагается использовать для плавления снежно-ледяных отложений (СЛО) при осуществлении зимнего

содержания дорог и улиц. Применение ЭПЦБ возможно реализовать при укладке на крайних правых полосах объектов улично-дорожной сети, куда сгребаются СЛО с проезжей части. Путем подачи электричества, полоса с ЭПЦБ способствует таянию снежной массы и отвода воды в дренажную сеть.

Кроме того, актуальна укладка ЭПЦБ на всю ширину проезжей части с перекрытием слоем асфальтобетона. Это можно реализовать на сложных участках (спуски, подъемы, съезды), либо на путепроводах и мостах.

Данной разработкой может заинтересоваться руководство городов, в которых существует сеть узких улиц при наличии припаркованных автомобилей, которые серьезно затрудняют уборку и вывоз снега. Конструкция с подогревом также может применяться в исторических центрах и пешеходных зонах.

Дальнейшие работы в данном направлении будут связаны с управлением температурой электропроводящего слоя, стандартизацией схемы подключения контактов и расчетом шага подключения, технико-экономическом обосновании и определением экономии предлагаемого решения по сравнению со стандартной схемой вывоза и утилизации снега.

Список литературы

1. Регламент комплексного содержания объектов дорожного хозяйства города Москвы в зимний период (с изменениями на 19 ноября 2015 года), — URL: <http://docs.cntd.ru/document/537972307>, (дата обращения 12.12.2019).
2. 5 необычных технологий уличного отопления зимой. Интернет-проект Novate.ru: все о дизайне. - URL: <https://novate.ru/blogs/201014/28211/> (дата обращения 15.12.2019).
3. Дороги с подогревом: практичное решение для стран с холодным климатом. Интернет-журнал для путешественников Travelask.ru. URL: <http://travelask.ru/blog/posts/13638-dorogi-s-podogrevom-praktichnoe-reshenie-dlya-stran-s-holodn> (дата обращения 19.04.2019).

4. Airfield Pavement Deicing with Conductive Concrete Overlay, Christopher Y. Tuan / University of Nebraska-Lincoln, Digital Commons. - URL: https://www.academia.edu/30879700/Airfield_Pavement_Deicing_with_Conductive_Concrete_Overlay (дата обращения 22.11.2019).
5. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2013. – 30 с.

References

1. Reglament kompleksnogo soderzhaniya ob'ektov dorozhnogo hozyajstva goroda Moskvy v zimnij period, s izmeneniyami na 19 noyabrya 2015 goda (The regulation of the complex maintenance of road facilities in the city of Moscow in the winter, as amended on November 19, 2015), URL: <http://docs.cntd.ru/document/537972307> (12.12.2019).
2. URL: <https://novate.ru/blogs/201014/28211/> (15.12.2019)
3. Electronny zhurnal Travelask.ru, URL: <http://travelask.ru/blog/posts/13638-dorogi-s-podogrevom-praktichnoe-reshenie-dlya-stran-s-holodn> (19.04.2019).
4. Airfield Pavement Deicing with Conductive Concrete Overlay, Christopher Y. Tuan / University of Nebraska-Lincoln, Digital Commons, URL: https://www.academia.edu/30879700/Airfield_Pavement_Deicing_with_Conductive_Concrete_Overlay (22.11.2019).
5. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам, ГОСТ 10180-2012 (Concrete. Strength determining methods on control samples, GOST 10180-2012), Moscow, FGUP «STANDARTINFORM», 2013, 30 p.

Рецензент: А.П. Скрыльник — канд. техн. наук, АДСК СРО