УДК 691.32:625.76:625.8«324»

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО БЕТОНА В КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ГОРОДСКИХ ДОРОГ И УЛИЦ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТЬЮ

Инженер **Е.Ю. Подъяпольская**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»),
канд. техн. наук **С.М. Дмитриев**,
ассистент **В.А. Долженков**
(Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ))
Конт. информация: Chepolinka17@mail.ru

В статье рассмотрена возможность применения оригинального решения для предотвращения обледенения покрытий и ускорения зимней уборки городских дорог и улиц путем внедрения в дорожную конструкцию электропроводящего бетона. Приведены результаты исследования физико-механических свойств данного материала, его тепло- и электропроводности.

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

В настоящее время серьезной проблемой зимнего содержания городской улично-дорожной сети является вывоз и утилизация снежной массы, сдвигаемой снегоуборочными машинами к краю проезжей части. Удаление снега шнеко-фрезерноротерными машинами за пределы полосы отвода или уборка скоростным отвалом на подавляющем большинстве площади города невозможна. Применение более современных машин и новых ПГМ, а также другими способами не может кардинально изменить технологию и скорость работ.

При снегопаде с низкой интенсивностью 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 уборке ведутся в ускоренном режиме, хотя для очистки проезжей части от снежно-ледяных отложений (СЛО) имеется достаточное количество техники, но дальнейшая утилизация снежной массы вызывает затруднения. Сроки вывоза складированного на лотковых зонах и тротуарах снега составляют, например, в г. Москве, от 2 до 6 дней в зависимости от категории улицы и интенсивности снегопада **[1]**. Но даже эти нормативы не всегда соблюдаются, и неубранная снежная мас-

са остается на более долгий период. Связано это с большими объемами снега, трудностями при его погрузке и вывозе, ограниченной производительностью снегоплавильных станций. Следствием таких задержек является сужение проезжей части, увеличение плотности движения и более серьезные транспортные заторы в час пик.

Для решения этих проблем за рубежом, в частности в странах северной Европы, делаются попытки устройства так называемых «теплых» дорог. Например, в Исландии под покрытиями дорог и улиц прокладывают трубы с водой из горячих источников **[2]**. В Финляндии на тротуарах используется технология подогрева покрытия, сравнимая по принципу действия с теплыми полами в помещениях **[3]**. Но в таком мегаполисе, как Москва, очень дорого и нерационально проводить сложную сеть труб с горячей водой, что также относится к применению металлических нагревательных элементов. Поэтому перспективным вариантом «теплой дороги» является третий вариант – использование электропроводящего цементобетона (ЭПБ).

Такой способ предложен ученым, д-ром К. Туаном из университета штата Небраска (США), в рамках его исследований по обеспечению безопасности дорожного движения в зимний период **[4]**. Способность цементобетона проводить ток достигается за счет добавления в его состав графита.

Одним из авторов данной статьи, в рамках выполнения выпускной квалификационной работы магистра, были проведены лабораторные испытания данного композиционного материала, направленные на подбор оптимального состава цементобетонной смеси с графитом. Были определены физико-механические свойства электробетона опытного состава, установлены электротехнические, технологические и термические параметры данного материала.

В ходе испытаний было необходимо решить несколько задач:

- Подобрать оптимальный состав ЭПБ с точки зрения прочности и электропроводности.
- Определить основные физико-механические свойства полученного материала, сопоставить их с данными нормативных документов **[5]**.
- Проверить электропроводность материала и скорость его нагрева от источника тока, в том числе при различном количестве добавленного графита и меняющемся напряжении.

Было подобрано и отформовано в образцы несколько составов для определения оптимального процентного соотношения компонентов, а, в особенности, технического углерода, наличие которого в цементобетоне и обуславливает возможность проведения электричества и нагрева самого материала, однако включение его в состав бетона не должно негативно сказываться на прочностных характеристиках **(табл. 1)**.

Таблица 1

Экспериментальные составы ЭПБ

Материал	***Количество 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

Процесс замеса состава имеет свои особенности. Первоначально тщательно перемешиваются сухие компоненты, в том числе углерод, и только потом добавляется вода, которой для данного материала требуется достаточно много. Из подобранных составов формовались образцы: кубики 10х10х10 см и балочки 2,5х4х16 см, которые затем испытывались на растяжение при изгибе и сжатие **(табл. 2)**.

Таблица 2

Результаты испытания на прочность

Состав	*Вид испытания*			
	Прочность на сжатие, МПа		*Прочность на растяжение при изгибе, кгс/см²*	
	7 сутки	*28 сутки*	*7 сутки*	*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

Таким образом, прочность испытанных образцов сопоставима с прочностью бетонов, относящихся к дорожным, что доказывает возможность применения ЭПБ в конструкции дорожных одежд. Однако следует отметить, что при дальнейших испытаниях образцов на изгиб отмечалось некоторое падение прочности, что требует дополнительных исследований.

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

1. В помещении, при температуре + 20^{0}С. Проверялась принципиальная возможность нагрева образца. Ток подавался от аккумулятора 11,1 В, при этом тепловизором был отмечен нагрев образца в точках контактов.
2. На улице, при температуре окружающей среды минус 16 °С, проверялась возможность нагрева материала до положительных температур при сильных морозах.
3. На улице, при предварительном выдерживании образцов в течение 8 ч при температуре окружающей среды минус 8 °С. С подключе-

нием аккумулятора 11,1 В, за полтора часа образец нагрелся до положительной температуры **(рис. 1)**.

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

а) *б)*

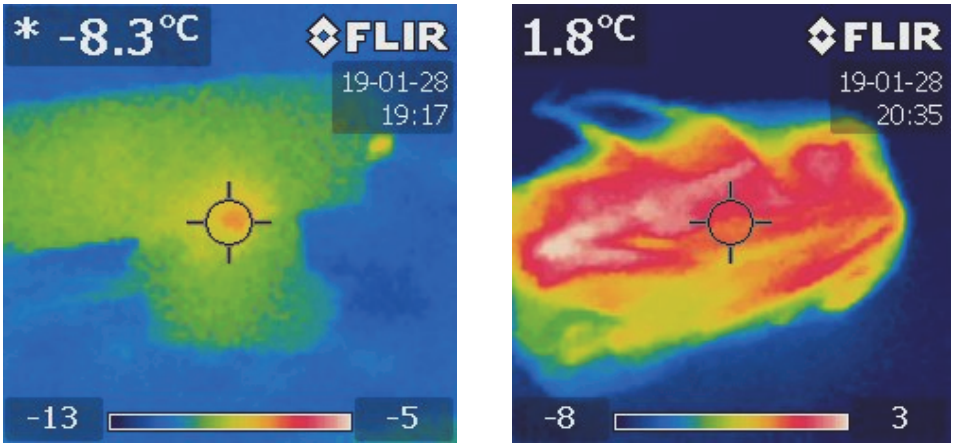

Рис. 1. Термограмма прогрева образца, выдержанного до начала испытаний в течение 8 ч при температуре – 8 °С, током от аккумулятора величиной 11,1 В:
а – начало измерений; б – конец измерений

а) *б)*

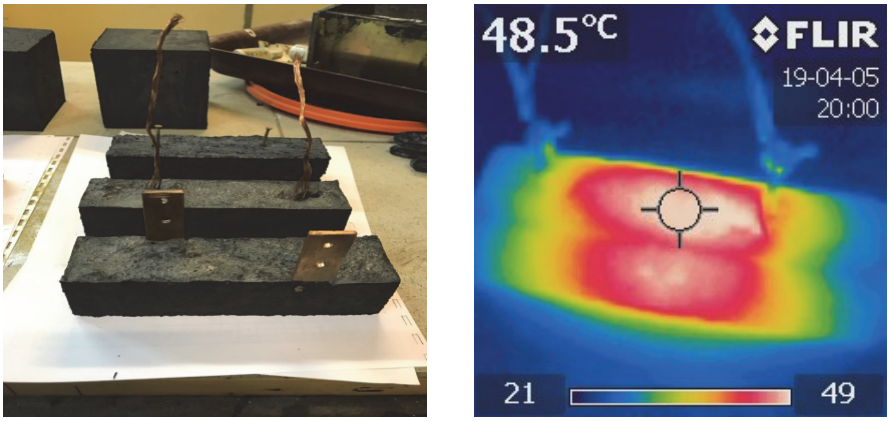

Рис. 2. Испытания образцов с помощью лабораторного блока питания:
а – внедренные в образцы бетона контактные элементы;
б – нагрев образца при подведении тока

Результаты испытаний показали быстрый и равномерный нагрев от подаваемого электричества при обеспечении качественного контакта ЭПБ и контактного элемента. Скорость нагрева зависит от количества технического углерода. Чем больше его процентное содержание, тем быстрее нагревается материал. Как видно из графика на **рис. 3**, состав с 13 % углерода нагревается за 20 мин до 50 °С, однако, с учетом прочностных характеристик, следует принять состав с содержанием 10-11 % углерода.

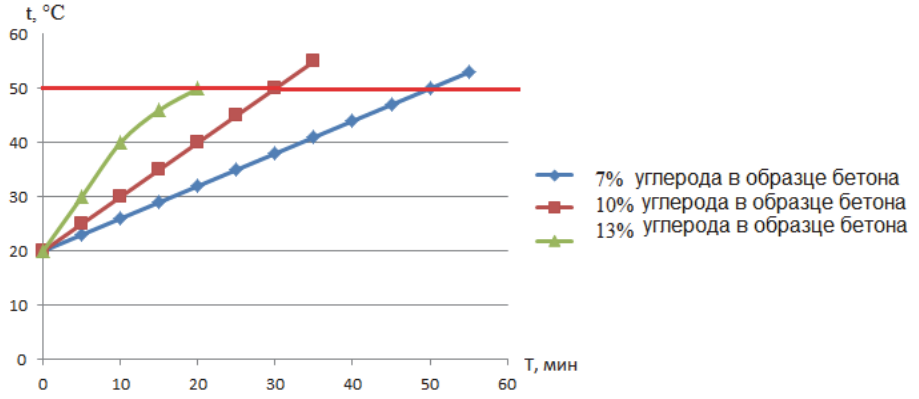

Рис. 3. Скорость нагрева бетона с разным процентным содержанием углерода

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные прочностные характеристики ЭПБ позволяют использовать его в конструктивных элементах автомобильных дорог и улиц.

ЭПБ способен эффективно и равномерно нагреваться при подключении к источнику электрического тока.

Скорость нагрева материала напрямую зависит от процентного содержания технического углерода в составе.

Оптимальное процентное содержание технического углерода в бетонной смеси по условиям прочности и способности нагрева составляет 10-11 %.

ЭПБ является электробезопасным для пешеходов и водителей, так как его предполагается перекрывать сверху защитным слоем, кроме того, нижележащие слои дорожной одежды играют роль заземления.

Основное направление применения электропроводящего бетона заключается в использовании его для плавления СЛО. Применение ЭПБ возможно на лотковых зонах объектов улично-дорожной сети, куда сгребаются СЛО с проезжей части. Далее, путем подачи электричества, на краевой полосе, в покрытие которой уложен ЭПБ, обеспечивается таяние данной массы и отвод воды в ливневую канализацию или кюветы.

Кроме того, является актуальной укладка ЭПБ во всю ширину проезжей части с перекрытием слоем асфальтобетона и на сложных участках (спуски, подъемы, съезды), либо на путепроводах и мостах.

В дальнейшем необходимо определить, каким образом можно эффективно регулировать температуру слоя, как оптимально реализовать подключение контактных элементов (шаг подключения), каким будет энергопотребление в зависимости от температуры воздуха, и какова будет экономическая эффективность по сравнению со стандартной схемой зимнего содержания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Регламент комплексного содержания объектов дорожного хозяйства города Москвы в зимний период (с изменениями на 19 ноября 2015 г.). – Электрон. данные. – URL: http://docs.cntd.ru/document/537972307 (дата обращения: 08.04.2019).*
2. *5 необычных технологий уличного отопления зимой. Интернет-проект Novate.ru: все о дизайне. – Электрон. данные. – URL: https://novate.ru/blogs/201014/28211/ (дата обращения: 12.04.2019).*
3. *Дороги с подогревом: практичное решение для стран с холодным климатом. Интернет-журнал для путешественников Travelask.ru. – Электрон. данные. – 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 / C. Y. Tuan / University of Nebraska-Lincoln, Digital Commons. – Электрон. данные. – URL: https://www.academia.edu/30879700/ Airfield Pavement Deicing with Conductive Concrete Overlay (дата обращения: 22.04.2019).*
5. *ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2013. – 30 с.*

L I T E R A T U R A

1. *Reglament kompleksnogo soderzhaniya ob'ektov dorozhnogo hozyajstva goroda Moskvy v zimnij period (s izmeneniyami na 19 noyabrya 2015 g.). – Elektron. dannye. – URL: http://docs.cntd.ru/document/537972307 (data obrashcheniya: 08.04.2019).*
2. *5 neobychnyh tekhnologij ulichnogo otopleniya zimoj. Internet-proekt Novate.ru: vse o dizajne. – Elektron. dannye. – URL: https://novate.ru/blogs/201014/28211/ (data obrashcheniya: 12.04.2019).*
3. *Dorogi s podogrevom: praktichnoe reshenie dlya stran s holodnym klimatom. Internet-zhurnal dlya puteshestvennikov Travelask.ru. – Elektron. dannye. – URL:http://travelask.ru/blog/posts/13638-dorogi-s-podogrevom-praktichnoe-reshenie-dlya-stran-s-holodn (data obrashcheniya: 19.04.2019).*
4. *Airfield Pavement Deicing with Conductive Concrete Overlay / C.Y. Tuan / University of Nebraska-Lincoln, Digital Commons. – Elektron. dannye. – URL: https://www.academia.edu/30879700/ Airfield Pavement Deicing with Conductive Concrete Overlay (data obrashcheniya: 22.04.2019).*
5. *GOST 10180-2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obrazcam. – M.: FGUP «STANDARTINFORM», 2013. – 30 s.*

APPLICATION OF ELECTRICALLY CONDUCTIVE CONCRETE INTO CONSTRUCTIVE ELEMENTS OF URBAN ROADS AND STREETS FOR WINTER SLIPPERINESS CONTROL

Engineer ***E.Yu. Podiapolskaya***
(FAI «ROSDORNII»),
Ph. D. (Tech.) ***S.M. Dmitriev****,*
Assistant ***V.A. Dolzhenkov***
(Moscow Automobile and Road
State Technical University (MADI))
Contact information: Chepolinka17@mail.ru

This article deals with the possibility of using an original solution to prevent pavements icing and accelerate winter cleaning of urban roads and streets by implementing electrically conductive concrete in road structure. The results of the study of the physical and mechanical properties of this material, its thermal and electrical conductivity are given.
Keywords: *«warm roads», concrete, winter maintenance, snow disposal, carbon, electrical conductivity.*

Рецензент: канд. техн. наук Л.А. Горелышева (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 07.06.2019 г.