

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО БЕТОНА

Василюк Юлия Игоревна,

Магистрант СПбГАСУ

vasilyuk-y@mail.ru

Сурков Александр Викторович,

начальник службы качества, ООО «ЛСР. Бетон

aleksandr_surkov@inbox.ru

научный руководитель: Иванова Татьяна Александровна.

к.т.н, доцент СПбГАСУ,

.raketadrom@yandex.ru

(Россия, г. Санкт-Петербург)

***Аннотация.** С появлением современных технологических инноваций в области дорожного строительства, повышением требований к дорожной безопасности, развития эффективности применяемых материалов для борьбы гололедицей, все большее внимание уделяется созданию противобледенительных дорог с применением электропроводящих материалов. В данной статье рассмотрен отечественный и зарубежный опыт по созданию электропроводящих дорожных покрытий*

***Ключевые слова.** Электропроводящий бетон, дорожный бетон, дороги с подогревом, противобледенительные дороги, углеродные материалы, графит*

В исследованиях 80-х годов было выявлено, что традиционный бетон в обычных температурно-влажностных условиях эксплуатации проводит электрический ток, однако это свойство не подвластно контролю. При этом в современных условиях электропроводность бетона считается негативным свойством, поскольку она вызывает электрокоррозию арматуры в железобетонных конструкциях под воздействием блуждающих токов [1].

Электропроводящий бетон представляет собой композитный материал на основе природного и техногенного сырья, обладающего электропроводностью с удельным сопротивлением, достаточным для того, чтобы использовать материал в качестве электропроводящего конструкционного и нагревательного материала.

Работы в данной области имеют давнюю историю. В бетон вводились графит, фуллерен, углеродные нанотрубки, углеродное волокно, стальные микропроволоки и другие проводящие добавки [1]. Многочисленные исследования свойств цементных материалов, как правило, были направлены на изучение свойств электропроводности твердеющего цемента или цементного камня и бетона во влажном состоянии, а также на создание низковольтного электроизоляционного бетона. Попытки получения высоковольтного электроизоляционного бетона в то время оказались неудачными по ряду причин, одной из которых оказалось то, что предшественникам не удалось создать материал со стабильными диэлектрическими свойствами, сохраняющимися на протяжении всего срока эксплуатации изоляционной конструкции.

Наиболее распространенным типом проводящей добавки в композиционных проводниках являются различные углеродистые продукты — сажи, графиты и др. Однако возможность сочетания цементной связки с углеродистым наполнителем до последнего времени оставалась сомнительной. Последние работы показали, что при определенных условиях такое сочетание возможно, и полученный композиционный материал, наряду со стабильной электропроводностью, регулируемой в широких пределах, обладает достаточно высокой механической прочностью [1].

Основное отличие электропроводящего бетона от известных композиций в том, что используется не специальная сажа, а размолотые продукты высокотемпературной обработки углей (кокс пековый и др.), а в качестве вяжущего — цемент.

Бетон с введенными микрочастицами графита известен, он имеет низкое электрическое сопротивление, однако существенный его недостаток — необходимость введения больших (до 30 об.%) концентраций графита. Действительно, графит имеет шарообразную форму, и для создания сквозной проводимости необходимо обеспечить контакты частиц графита друг с другом, а для круглых частиц это выполнимо только при их высоких концентрациях. При концентрации графита 30% прочность бетона снижается в 10–30 раз, что недопустимо для большинства областей применения, поэтому такой бетон не нашел применения.

С точки зрения обеспечения проводимости целесообразно использовать проводящие частицы с большим относительным удлинением — стержни, волокна, поэтому в ряде работ в бетон вводили нанотрубки, углеродное волокно и другие объекты с большим удлинением. Результаты с углеродными нанотрубками можно считать успешными, поскольку проводимость достигалась при незначительном их содержании, однако стоимость нанотрубок исключительно высока. Углеродное волокно много дешевле, однако, не имея совместимости с бетоном, оно скручивается в клубки, и для его введения необходима стабилизация поверхностно-активным веществом.

Цементное вяжущее является вполне подходящим видом связки, так как его удельное электрическое сопротивление на 6—8 порядков выше, чем у углерода, и коэффициент линейного расширения близок к коэффициенту линейного расширения добавки. Требования к интервалу допустимых рабочих температур определяются температуростойкостью цементного камня (+150°C), так как углерод допускает нагрев до 550°C.

Различие в коэффициентах линейного расширения углерода и цементной связки дало возможность предположить, что при нагреве удельное сопротивление электропроводящего бетона будет уменьшаться, что полностью подтвердилось экспериментально. Хотя подобные изменения электрических параметров нежелательны, однако следует отметить, что их абсолютная величина не выходит за пределы допустимых для непроволочных сопротивлений значений [1].

Влажность электропроводящего бетона также влияет на композиции, однако для практически употребляемых объемных концентраций углерода это уже не сказывается. Увлажнение будет влиять на морозостойкость материала и его работу при тепловых ударах, что в целом определяет долговечность конструкции и стабильность ее свойств.

Исследования показали, что электропроводящий бетон имеет стабильные электрические характеристики и изменение его сопротивления в процессе эксплуатации не превышает 5%. Из электропроводящего бетона возможно изготовление нагревательных элементов и конструкций, которые имеют высокие электронагревательные способности.

Были изучены работы исследователей университета Небраски-Линкольна, США, которые разработали состав на основе угольного кокса и стальной стружки, однако стальная стружка в условиях влажного климата России быстро корродирует и электропроводные свойства бетона исчезают [2].

Наиболее важными факторами в разработке стали:

- Дополнительные компоненты являются обычными отходами промышленного производства и не требуют значительных затрат для их получения. Кроме того, их использование позволит производителям бетона внести свой вклад в борьбу за улучшение экологической обстановки.
- В процентном отношении содержание добавок в смеси не превышает 20%, что исключает влияние дополнительных компонентов на качество и базовые физико-механические свойства бетона.

С 2003 года были проведены множество исследований и экспериментов, пока не удалось создать образец, обладающий заданными свойствами и пригодный для широкомасштабного производства [2].

Таким образом стала бетонная плита нового состава со стальным арматурным каркасом, который выполняет одновременно и функции мощного нагревательного элемента. Такой источник позволяет дозировать количество тепловой энергии, выделяемой в изделии и распределять ее равномерно по всему объему плиты.

В качестве испытательного полигона команда использовала участок дороги, покрытый 52 плитами из бетона инновационного состава. Эксперимент показал, что даже в сильные морозы можно добиться того, чтобы снег, попавший на плиту, незамедлительно таял и, при этом, не допускать обледенения поверхности. Это дает массу преимуществ, особенно при применении смеси для изготовления дорожных и аэродромных плит:

- Значительно растет безопасность движения по дорогам и полосам, покрытым такими изделиями.
- Появляется возможность эффективно противодействовать некоторым видам природных явлений, таких как масштабные снежные осадки, гололед, критическое снижение температуры, град и ливни;
- Снижается потребность в применении химических реагентов и снегоуборочных машин, что может значительно сократить расходы.

Единственная проблема, с которой пока не удалось справиться профессору и его коллегам – высокая стоимость инновационного материала. Однако, в перспективе, при увеличении объемов производства и совершенствовании технологий, эта величина может снизиться в разы.

Команда исследователей университета штата Айова под руководством профессора Халила Джейлана разработала новый тип электропроводящего бетона, которому не страшны лед и снег (рис. 1).

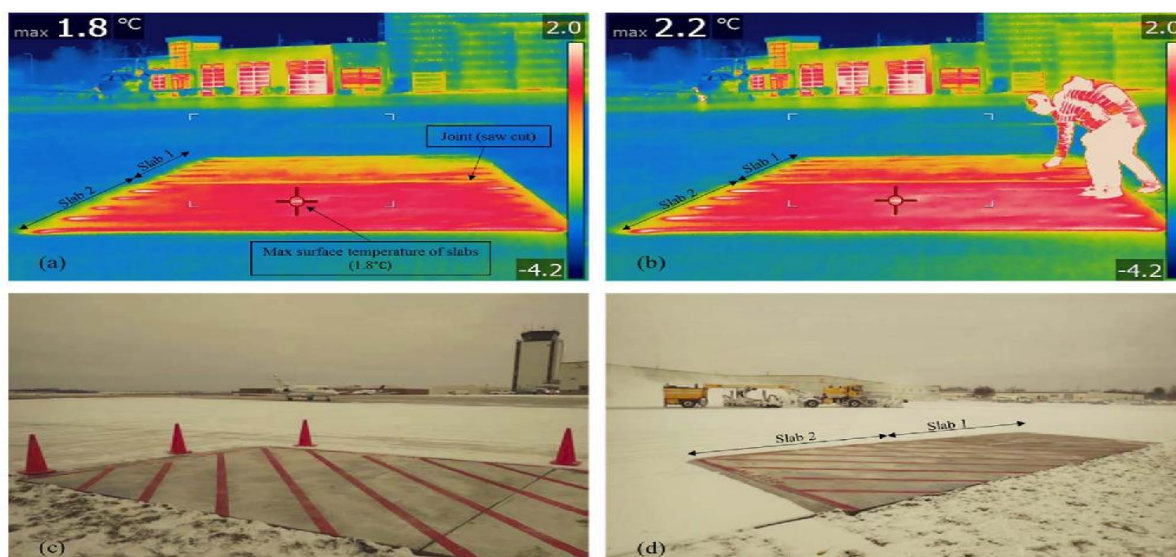


Рис.1 Инфракрасное изображение плит.

На площадке установлены две параллельных бетонных плиты размером 4,6 x 4,1 м и толщиной 19 см. Каждая плита имеет двухслойную структуру. 10-сантиметровое основание состоит из обычного бетона, а верхний слой – из 1-процентного углеродного волокна в сочетании со специальной смесью из цемента, песка и гравия. Между слоями установлены 6 электродов (на плиту), подключенных к сети в соседнем ангаре [3].

Управляемые через специальное приложение, электроды направляют ток на верхний электропроводный слой, который, благодаря сопротивлению, начинает нагреваться до температуры, достаточной для расплавления снега и льда. Данный способ

перспективен в авиастроительстве, при создании противообледенительных взлетных полос [3].

Российские исследователи из НИУ ИТМО в работе «Электропроводящая композиция бетона» разработали состав на углеродном волокне с химически обработанной поверхностью. В работе проведено исследование электропроводящего бетона, проводимость которого обусловлена введением углеродного волокна, стабилизированного неорганическим поверхностно-активным веществом, в концентрации 0,12 вес.%. С точки зрения обеспечения проводимости была выявлена целесообразность использования проводящих частиц с большим относительным удлинением - стержни, волокна [4].

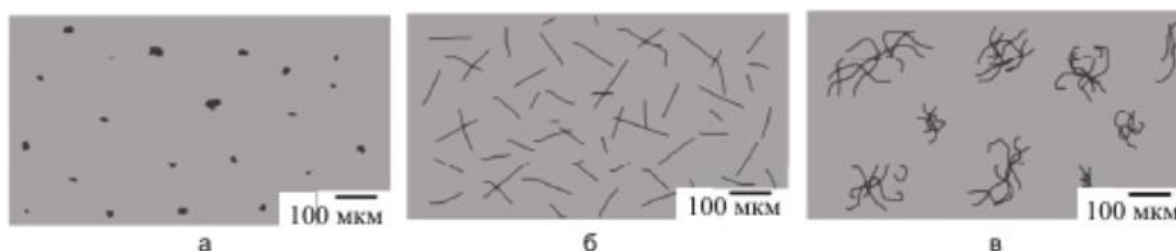


Рис 2. Схематическое изображение структуры бетона с различными проводящими включениями: а) с частицами графита; б) бетон с короткими волокнами; в) бетон с длинными волокнами

Лабораторные образцы модифицированного электропроводящего бетона при умеренном содержании модификатора, повышающего цену не более чем на 30 %, имеют прочностные характеристики на уровне обычного бетона В30 и электропроводность 15 Ом на квадрат. Они обеспечивают выделение электрической мощности 4 Вт/куб. дюйм при температуре 80 градусов Цельсия. Данные характеристики достаточны для практического применения и обеспечивают антиобледенительные свойства конструкций. Однако имеет место необратимое увеличение электропроводности при пропускании тока порядка 250мА/см² и более [4].

В Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете было рассмотрено применение электропроводящего бетона в конструктивных элементах городских дорог и улиц для борьбы с зимней скользкостью.

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. 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. Но даже эти нормативы не всегда соблюдаются, и неубранная снежная масса остается на более долгий период [5]. Связано это с большими объемами снега, трудностями при его погрузке и вывозе, ограниченной производительностью снегоплавильных станций [6]. Для решения данной проблемы были проведены исследования электропроводимости бетона, которые были проведены в следующих условиях:

1. В помещении, при температуре + 200С. Проверялась принципиальная возможность нагрева образца. Ток подавался от аккумулятора, 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 подключением аккумулятора 11,1 В, за полтора часа образец нагрелся до положительной температуры (рис. 3).

4. В помещении, с помощью лабораторного блока питания с переменными параметрами, при подаче тока с напряжением 60 [5].

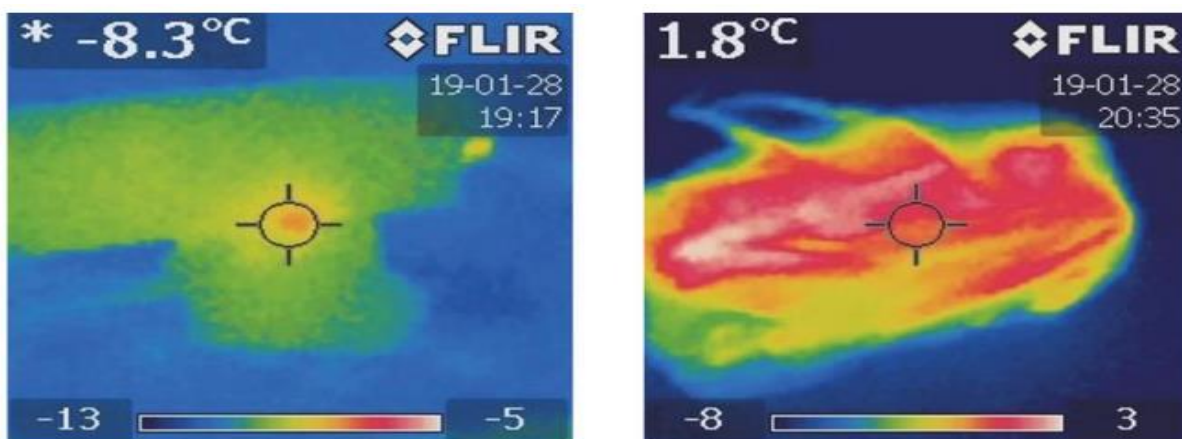


Рис. 3. Термограмма нагрева образца, выдержанного до начала испытаний в течение 8 ч при температуре – 8 °С, током от аккумулятора величиной 11,1 В: а – начало измерений; б – конец измерений

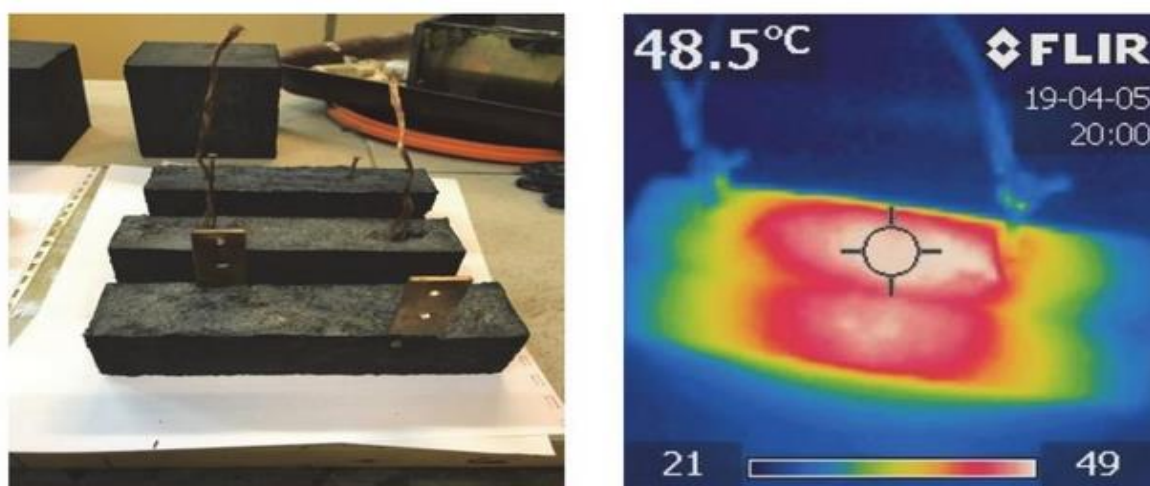


Рис. 4. Испытания образцов с помощью лабораторного блока питания: а – внедренные в образцы бетона контактные элементы; б – нагрев образца при подведении тока.

Результаты испытаний показали быстрый и равномерный нагрев от подаваемого электричества при обеспечении качественного контакта ЭПБ (электропроводящего бетона) и контактного элемента. Скорость нагрева зависит от количества технического углерода. Чем больше его процентное содержание, тем быстрее нагревается материал. Состав с 13 % углерода нагревается за 20 мин до 50 °С, однако, с учетом прочностных характеристик, следует принять состав с содержанием 10-11 % углерода. ЭПБ является электробезопасным для пешеходов и водителей, так как его предполагается покрывать сверху защитным слоем, кроме того, нижележащие слои дорожной одежды играют роль заземления [7].

Таким образом, на основе анализа современных работ было выявлено, что актуальной задачей на сегодняшний день является разработка составов токопроводящего цементного композита на углеродной основе.

Список использованной литературы

1. Врублевский Л.Е. // Возможности использования электропроводного бетона в гражданском строительстве, Обзор подготовлен Зональным научно-исследовательским институтом типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий (СибЗНИИЭП). 1971 г

2. Alireza Sassania, Halil Ceylanb, Sunghwan Kimc, Ali Arabzadehd, Peter C. Taylore, Kasthurirangan Gopalakrishnanf // Development of Carbon Fiber-modified Electrically Conductive Concrete for Implementation in Des Moines International Airport // Case Studies in Construction Materials Volume 8, June 2018, Pages 277-291 (дата обращения: 03.10.2020)
3. Yoo D.-Y., You I., Lee S.-J. Electrical properties of cementbased composites with carbon nanotubes, graphene, and graphite nanofibers // Sensors. 2017. V. 17. N 5. P. 1064. doi: 10.3390/s17051064 (дата обращения: 03.10.2020)
4. И.Ю. Денисюк, М.В. Успенская, М.И. Фокина, К.Ю. Логушкова Электропроводящая композиция бетона//Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 1. С. 158–162. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-158-162 (дата обращения: 05.10.2020)
5. Е.Ю. Подъяпольская, С.М. Дмитриев, В.А. Долженков Применение электропроводящего бетона в конструктивных элементах городских дорог и улиц для борьбы с зимней наледью // Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) УДК 691.32:625.76:625.8«324» – 2019 (дата обращения: 10.10.2020)
6. 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>
7. 5 необычных технологий уличного отопления зимой. Интернет- проект Novate.ru: все о дизайне. – Электрон. данные. – URL: <https://novate.ru/blogs/201014/28211/> (дата обращения: 10.10.2020)