

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО БЕТОНА

КОНЬКОВ В. В.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

В течение ряда лет требования к эксплуатационным качествам зданий и сооружений постоянно возрастают. Это обусловлено повышающимися запросами к качеству жизни, к потребительным стандартам строительной продукции. То, что считалось приемлемым 2–3 десятилетия назад, по современным представлениям уже не является таковым.

Одним из путей решения этой проблемы является создание материалов и конструкций с особыми и даже уникальными свойствами. Эта тенденция имеет место и при применении бетонов – основного строительного материала при возведении самого широкого спектра зданий и сооружений. В мировой инженерной практике такие бетоны с заданными специфическими свойствами относят к классу Engineered Cement Composites (ЕСС), то есть проектируемые цементные композиты [1–3, 6]. Данные композиты входят в более широкий кластер высокофункциональных бетонов (High Performance Concrete (HPC)), широко применяемых в современном строительстве [4, 5].

Одной из их разновидностей являются электропроводящие бетоны. Получены такие бетоны могут быть различными способами. Впервые данный материал был разработан американским профессором Крисом Туаном (Chris Tuan) Университета Линкольна в Небраске (США) [7, 8], который предложил использовать его при строительстве дорог в северных штатах США и Канаде для того, чтобы растапливать снег и лед. Предложенный состав содержит до 20 % углеродных гранул и металлических опилок и стружек. При пропускании электрического тока генерируется тепловая энергия, что вызывает таяние льда и снега.

Представляется весьма эффективным применение этого компонента при строительстве взлетно-посадочных полос аэропортов в районах с достаточно продолжительным холодным периодом в течение года (Беларусь, Россия, Скандинавия, Исландия, Северная Америка и др.).

Экономический анализ применения данного материала показал, что первоначальное его удорожание на стадии строительства в значительной степени компенсируется снижением эксплуатационных затрат на антиобледенительные химические вещества и периодически повторяющиеся работы по их нанесению на покрытие дорог и аэродромов.

Следует также учитывать агрессивное воздействие химических реагентов на дорожное покрытие, что приводит к его преждевременному разрушению и соответственно сокращает межремонтные периоды. Это также вызывает существенное увеличение эксплуатационных затрат.

Кроме того весьма существенно негативное воздействие на состояние транспортных средств, перемещающихся по этим дорогам. Трудно поддаются экономическому расчету значительные затраты на работы по компенсации негативного воздействия химических веществ на состояние окружающей среды, почвы, флоры и фауны, на здоровье человека.

Таким образом, если рассматривать весь жизненный цикл электропроводящего дорожного покрытия, то его использование оказывается более эффективным, чем традиционного.

Очень важным фактором в пользу рассматриваемого конструктивного решения являются уже реализованные разработки, позволяющие использовать электропроводящие покрытия дорог для подзарядки электромобилей. Особая важность этой возможности обуславливается тем, что главным фактором, определяющим расстояние поездки на одной зарядке, а, следовательно, технические и эксплуатационные характеристики и, в конечном итоге, стоимость электромобиля и стоимость его эксплуатации, является емкость аккумулятора.

Это приобретает особую значимость в связи со стремительным ростом количества электромобилей, а также в связи со значительным увеличением в ближайшие годы электрогенерирующих мощностей в нашей стране.

Изучение электрических свойств бетона идет в ряде стран (США, Канаде, Норвегии, Китае, России и др.) по двум основным направлениям.

Прежде всего, это целенаправленное создание электропроводящих бетонов с малым удельным электрическим сопротивлением и стабильностью электрических параметров во времени при изменяющихся условиях эксплуатации.

Вторым направлением является исследование электрических свойств традиционных широкоприменяемых бетонов и создание на их основе бетонов с улучшенными электроизоляционными свойствами: высоким удельным электрическим сопротивлением и малым значением диэлектрических потерь (диэлектрические потери – это часть энергии электрического поля, преобразующаяся в тепловую энергию в диэлектрике. В техническом аспекте это электрическая мощность, расходуемая на нагрев диэлектрика, находящегося в электрическом поле).

Сложность задачи заключается в том, что электрические свойства традиционного бетона нестабильны, а, следовательно, регулирование их в требуемых диапазонах практически невозможно. Эта проблема может быть решена только за счет ряда технологических и конструктивных приемов.

Обычный бетон способен проводить электрический ток при определенном сочетании факторов: увлажнения, температуры, вида компонентов сырьевой смеси и др. В результате сезонных колебаний вышеупомянутых параметров сопротивление прохождению электрического тока изменяется в 6–9 раз, что объясняется ионным характером его проводимости. При увлажнении бетона легкорастворимые составляющие цементного камня переходят в жидкое состояние, и он приобретает свойства полупроводника с низким электросопротивлением.

При этом следует учитывать, что использование данной технологии в железобетонных конструкциях нежелательно, т. к. в этом случае активизируется электрическая коррозия арматуры из-за влияния блуждающих токов. В то же время этот эффект может выполнять и позитивную роль, выполняя функцию заземления на объектах энергетического хозяйства.

Реализация первого направления осуществляется путем введения в бетон в оптимальном количестве отходов металлообрабатываю-

ших и коксовых производств, дробленых металлургических шлаков, графита, сажи и др. При этом токопроводящий компонент в большинстве случаев следует дорабатывать путем дробления, помола, отсеивания крупной фракции.

Важным моментом является то, что нагревание бетона эффективно реализуется при напряжении 30–40 вольт, а мощность, требующаяся для нагрева его до температуры 60–80 °С по данным ведущих производителей 100–200 ватт на 1 кв.метр. При этом следует учитывать предельно допустимую температуру нагревания цементного камня (150 °С), т. к. при ее превышении начинаются процессы дегидратации цементного камня с нарушением его структуры и потерей несущей способности. При нагревании до 3–5 °С (например, дорожных покрытий), что достаточно для таяния льда и снега, затраты электрической энергии соответственно уменьшаются.

Электропроводящий бетон может быть использован в промышленном и гражданском строительстве в качестве греющих полов и вместо батарей отопления в двух- и трехслойном вариантах с одним токопроводящим слоем. Преимущество таких элементов в их термической инерционности, т. е. даже после отключения напряжения массивная конструкция в течение значительного времени способна отдавать тепло.

Учитывая некоторое повышение первоначальной стоимости электропроводящего бетона на стадии приготовления и укладки по сравнению с обычным бетоном, стоит задача ее оптимизации. Это может быть достигнуто следующими способами.

Выявление и локализация сфер, где данный вид материала конструктивно и экономически наиболее эффективен. Например, использование электропроводящего бетона только в верхнем финишном слое дорожных одежд и покрытия взлетно-посадочных полос. Дополнительная экономия средств может быть достигнута при расположении этого бетона не по всей ширине покрытия, а полосами, с которыми наиболее вероятен контакт колес транспортных средств во время движения.

Следует отметить, что в массивных конструкциях, каковыми являются дорожные сооружения, по мере прогревания вышеуказанных полос прогревается и близлежащий обычный бетон как по ширине, так и вглубь конструкции. Это ведет к уменьшению количества циклов замораживания и оттаивания («переходов через 0 °») в течение

календарного года, что также позволяет увеличить межремонтные периоды и способствует сокращению эксплуатационных затрат.

Одним из приоритетных мест применения являются автодорожные мосты и путепроводы, где последствия возможных аварий из-за скользкого покрытия могут быть наиболее тяжелыми. При этом экономические расчеты показывают, что при трехдневном шторме с обледенением дорожного покрытия моста в Небраске на активное функционирование слоя электропроводящего бетона было затрачено 250 USD, в то время как на достижение подобного состояния поверхности традиционными средствами (работа специализированного автомобиля с химикатами) финансов требуется в несколько раз больше.

Расход электрической энергии может быть существенно сокращен за счет включения электропроводящего слоя в работу только в периоды, обусловленные гидрометеорологической обстановкой и фактическим состоянием дорожного покрытия.

Весьма существенным резервом повышения экономической эффективности является учет термической инерционности бетона при расчете периодов включения и отключения электроэнергии, т.к. его массив способен достаточно длительное время поддерживать температуру конструкции в заданном диапазоне и после прекращения генерирования теплового поля.

Еще одно преимущество данного композитного состава – он не проводит электромагнитные волны. Это достигается путем замена части известняка и песка природным минералом магнетитом, в результате чего токопроводящая смесь также защищает от электромагнитных волн, в том числе радиочастотных волн, используемых мобильными телефонами. Это может заинтересовать тех, кто обеспокоен промышленным шпионажем на уязвимых участках, что дает дополнительные гарантии защиты от несанкционированного съема информации.

Электропроводящий бетон может быть с успехом применен в наиболее травмоопасных местах интенсивных пешеходных потоков: ступенях лестниц на входе социально-культурных, спортивных зданий, наземных и подземных пешеходных переходов и др.

Применение данного композита целесообразно для предотвращения образования сосулек на крышах зданий.

Суммируя вышесказанное, приходим к выводу, что электропроводящий бетон в ряде случаев может быть с успехом и суще-

ственным экономическим эффектом применен в зданиях и сооружениях со специфическими требованиями в течение всего их жизненного цикла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Assem A. A. Hassan. Structural Performance of Self-Consolidating Engineered Cementitious Composite Beams Containing Crumb and Powder Rubber.- *Materials Journal* . – American Concrete Institute.- p.p.: 167–179. Volume: 117, Issue: 2

2. E.N. Hertbert, and V. C. Li. (2012). “Self-healing of Engineered Cementitious Composites in the Natural Environment.” *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites*, Springer Netherlands, No. 6, Vol. 2, 155–162.

3. T. Horikoshi, A. Ogawa, T. Saito, and H. Hoshiro. (2006). “Properties of Polyvinyl Alcohol Fiber as Reinforcing Materials for Cementitious Composites.” *International RILEM Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites in Structural Applications*, RILEM Publications SARL, 145–153.

4. V. Konkov. Principle Approaches to High Performance Concrete Application in Construction. – *Modern Building Materials, Structures and Techniques*. – *Procedia Engineering*, Volume 57, 2013, Pages 589–596.

5. Sparowitz, L., Freytag, B., 2012. Transport Constructions made of Ultra High Performance Concrete, *ALITinform: International Analytical Review* 2, pp. 40–49.

6. K. Yu, J. Dai, Z. Lu, and C. Leung. (2015). “Mechanical Properties of Engineered Cementitious Composites Subjected to Elevated Temperatures.” *J. Mater. Civ. Eng., ASCE*, Vol. 27, Issue 10.

7. Ch. Tuan, Sh. Yehia. (2004). “Evaluation of electrically conductive concrete containing carbon products for deicing”. *ACI Materials Journal*.

8. Ch. Tuan, L. Nguyen. (2019) “Electrically conductive concrete mix for electromagnetic (EM) ground plane”. *University of Nebraska – Lincoln*.