

Численные обозначения графиков соответствуют количеству циклов замораживание-оттаивание. Стрелка указывает тенденцию в изменении спектра.

Параметры эквивалентной схемы здесь не представлены, поскольку соответствие приведенной выше схемы спектрам, полученным после 3-го цикла замораживания, было неудовлетворительно (погрешность превышала 5%).

Уменьшение значений импеданса свидетельствует об уменьшении сопротивления материала и увеличении электрической емкости, что показал анализ спектров импеданса. Указанные изменения, вероятно, связаны с механическим расширением пор в циклах замораживание – оттаивание и дополнительным наполнением их проводящим компонентом, а также появлением новых каналов переноса заряда.

### **Заключение**

Хотя универсальная методика анализа спектров импеданса цементобетонных материалов пока еще находится в стадии разработки и совершенствования, тем не менее, данная работа демонстрирует возможность уже на данном этапе с помощью многочастотного отклика переменного тока и анализа эквивалентных схем исследовать качественные показатели, характеризующие открытую пористость цементобетонных конгломератов.

### **Список использованной литературы**

1. Ragoisha G.A., Bondarenko A.S. Potentiodynamic electrochemical impedance spectroscopy for solid state chemistry // Solid State Phenomena. – Vol. 90-91, 2003. – P. 103-108.
2. Christensen B.J., Coverdale R.T., Olson R.A., Ford S.J., Garboczi E.J., Jennings H.M., Mason T.O. Impedance spectroscopy of hydrating cement-based materials: measurement, interpretation, and application, J. Am. Ceram. Soc. – Vol. 77, 1994. – P. 2789-2804.
3. Jin-Ha Hwang. Impedance Spectroscopy Analysis of Hydration in Ordinary Portland Cements Involving Chemical Mechanical Planarization Slurry, Journal of the Korean Ceram. Soc. – Vol. 49. – No.3, 2012. – P. 260~265.
4. Бондаренко С.Н., Чулкин П.В., Рагойша Г.А., Коликов А.О., Бондаренко А.С. Исследование процесса твердения цементобетонного конгломерата методом импедансной спектроскопии // Наука и техника, №6, 2015. – С. 63-73.
5. Bondarenko A.S., Ragoisha G.A., EIS Spectrum Analyser, 2013 [Электронный ресурс: <http://www.abc.chemistry.bsu.by/vi/analyser/>]

УДК 69.001.5

## **ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕМОНТЕ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Васильева Е.И., Бондаренко С.Н.*

*Белорусский национальный технический университет*

*e-mail: kukaburo1@mail.ru*

**Abstract.** *The use of modern technologies in the repair of highways is an urgent task. More attention is paid to the structure formation of repair materials at the micro level. The main issue is the accurate collection of data on the existing coverage, as well as the adaptation of new technologies for road repair. To solve these tasks is possible by implementing 3D-printer for road construction. The construction of 3D-models will allow for the diagnostics of pavements. And the concept of 3D-printing will make it possible to form the necessary microstructure of the repair material.*

Сформированная в настоящее время сеть дорог Республики Беларусь требует постоянного поддержания её в надлежащем состоянии. Для этого необходимо своевременное и качественное выполнение ремонтных работ.

Состав существующих покрытий по исходным материалам отличается от используемых в настоящее время ремонтных составов, поэтому актуальной задачей является обеспечение прочного контактного взаимодействия новых и старых слоев. Для этого предлагается [1] устраивать переходный микрокомпозиционный слой, который может обеспечить прочное и долговечное взаимодействие старой дорожной основы с новыми ремонтными слоями. Особенностью такого переходного контактного слоя является его градиентная структура.

Основной функцией разрабатываемого градиентного материала для промежуточных контактных зон является согласование физико-химических, термомеханических и эксплуатационных характеристик между старыми и новыми слоями дорожной одежды, что обеспечит надежную работу покрытия под интенсивными нагрузками, а также увеличит межремонтные сроки. Переходный градиентный слой будет обладать многослойной композиционной структурой с непрерывно изменяющимися по сечению свойствами [2].

Для эффективной реализации такой технологии при ремонте покрытий необходимо четко обеспечить заданное пространственное распределение проектируемого материала в контактной зоне между слоями дорожной одежды. Благодаря тому, что в основе современных 3D-технологий лежит концепция послойного нанесения материала на основе цифровой модели, использование на практике этих технологий позволяет принципиально разрешить данную задачу. Адаптация 3D-принтера для ремонта дорожных покрытий позволит создавать контактные слои с заданной геометрией расположения всех компонентов градиентного композиционного материала, что позволит обеспечить формирование оптимальных типов микроструктур.

Для практического использования данной технологии предварительно создаются 3D-модели за счет 3D-сканирования. При ремонте дорог 3D-сканирование обеспечит автоматический сбор и анализ данных о состоянии существующего покрытия. Таким образом, построение 3D-модели также позволит дополнительно проводить диагностику дороги. Во время печати принтер считывает 3D-печатный файл, содержащий данные трехмерной модели, затем последовательно наносит материал, выстраивая трехмерную модель из серии поперечных сечений. Эти слои, соответствующие виртуальным поперечным сечениям в САД-модели, соединяются вместе для создания оптимальной геометрии микроструктуры градиентного контактного слоя.

Для применения данной технологии при ремонте автомобильных дорог необходимо изменить «разрешение» принтера под проектируемый материал. «Разрешение» принтера подразумевает толщину наносимых слоев (ось  $Z$ ) и точность позиционирования дозирующей головки в горизонтальной плоскости (по осям  $X$  и  $Y$ ). Необходимо также проработать вопрос адаптации 3D-принтера к использованию непосредственно в местах проведения ремонтных работ.

### **Список использованной литературы**

1. Оценка возможности формирования послойно-градиентных цементобетонных покрытий при реконструкции асфальтобетонных дорожных одежд / С. Н. Бондаренко [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Международной научно-технической конференции. – Минск: БНТУ, 2015. – Т. 2. – С. 205-206.
2. Калмыков А.Г., Баринов С.М., Алымов М.И. Основы технологий и применение нанокompозитов. – М.: Физматлит, 2012. – 208 с.