

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-6>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/117TVN615.pdf>

DOI: 10.15862/117TVN615 (<http://dx.doi.org/10.15862/117TVN615>)

**УДК 65.011.56**

**Илюхин Андрей Владимирович**

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»  
Россия, г. Москва

Заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: [aviluhin@mail.ru](mailto:aviluhin@mail.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=331654](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=331654)

**Марсов Вадим Израилевич**

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»  
Россия, г. Москва

Профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов»

Доктор технических наук

E-mail: [Evmarsova@rambler.ru](mailto:Evmarsova@rambler.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=552050](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=552050)

**Колбасин Александр Маркович**

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»  
Россия, г. Москва

Доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов»

Кандидат технических наук

E-mail: [alex081979@yandex.ru](mailto:alex081979@yandex.ru)

РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=702654](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=702654)

**Кочетков Андрей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
Россия, г. Пермь

Профессор кафедры «Автомобили и технологические машины»

Доктор технических наук

E-mail: [soni.81@mail.ru](mailto:soni.81@mail.ru)

**Макаров Александр Дмитриевич**

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»  
Россия, г. Москва

Аспирант

E-mail: [madi-app@mail.ru](mailto:madi-app@mail.ru)

**Астафьев Михаил Александрович**

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»  
Россия, г. Москва

Аспирант

E-mail: [madi-app@mail.ru](mailto:madi-app@mail.ru)

## Оценка параметрических показателей процесса структурообразования бетона

**Аннотация.** Приведены результаты исследования особенностей процесса структурообразования бетона на основе измерения его электропроводности, которые могут быть использованы при разработке электронных средств автоматического контроля и управления моментом приложения к железобетонным изделиям повторного вибрационного воздействия, являющегося действенным средством повышения качественных характеристик изделий и получения значительного экономического эффекта.

Результаты экспериментов показали, что кривые электропроводности, полученные с помощью гребенчатых электродов, отличаются большей стабильностью, в сравнении с использованием пластинчатых электродах, из-за процесса контракции, вызывающего отслоение исследуемого образца от стенок формы. Было исследовано влияние нагрева бетона измерительным током различной плотности на процесс его схватывания. Для измерения влияния нагрева образцов бетонной смеси использовался дифференциальный метод по опережению выхода экстремальной точки кривой электропроводности образца с более высокой плотностью тока к образцу с менее высокой плотностью тока.

Полученные данные об особенностях процесса структурообразования бетона могут быть использованы при разработке устройства автоматического контроля и управления моментом приложения повторного вибрационного воздействия, на основе измерения электропроводности с использованием современных электронных средств.

**Ключевые слова:** электропроводность бетона; измерительный ток; экстремум; структурообразование бетона; вибрационное воздействие; управление; контроль; измерение; регулирование; измерение.

### Ссылка для цитирования этой статьи:

Илюхин А.В., Марсов В.И., Колбасин А.М., Кочетков А.В., Макаров А.Д., Астафьев М.А. Оценка параметрических показателей процесса структурообразования бетона // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/117TVN615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/117TVN615

Статья опубликована 25.11.2015.

### Актуальность проблемы

Качество железобетонных конструкций, изготавливаемых в кассетных установках, во многом зависит от процессов структурообразования бетона. Контроль кинетики бетона позволяет определить момент приложения к железобетонному изделию повторного вибрационного воздействия, являющегося действенным средством повышения его качественных характеристик, получения значительного экономического эффекта, без увеличения производственных площадей, без дополнительных капитальных затрат на оборудование и увеличения расхода цемента, достигая при этом значительного повышения прочности изделий [1-9].

### Постановка задачи исследования

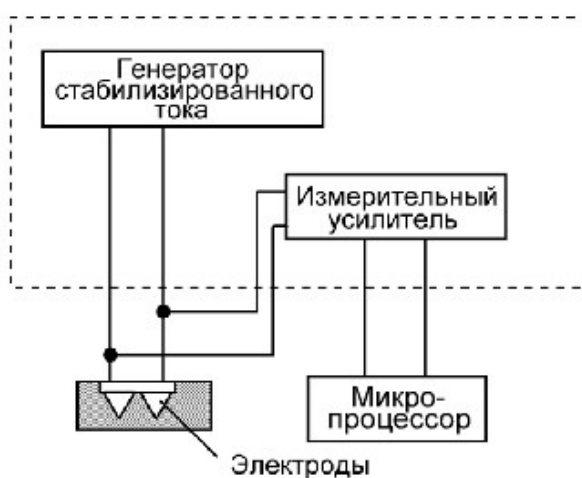
Метод контроля процесса структурообразования бетона по изменению кривой его электропроводности, формообразование которой зависит от физико-химических процессов, происходящих в бетонной смеси, является наиболее эффективным. Моменты качественных,

фазовых изменений в структуре бетона соответствуют экстремальным точкам на кривых электропроводности. Однако разработка автоматического устройства контроля структурообразования бетона на основе определения его электропроводности требует предварительных исследований по выявлению основных параметров электропроводности бетона, т.е. по выявлению параметров измерительного тока и характера его теплового воздействия на протекание процесса структурообразования. Для определения основных параметров устройства следует провести исследования влияния [1-3]:

- формы, частоты и характера измерительного тока на электропроводность бетона и формообразование кривой электропроводности;
- изменения плотности измерительного тока на кривую электропроводности;
- формы и материала электродов на стабильность результатов;
- нагрева бетона измерительным током различной плотности на процесс схватывания.

### Результаты исследований

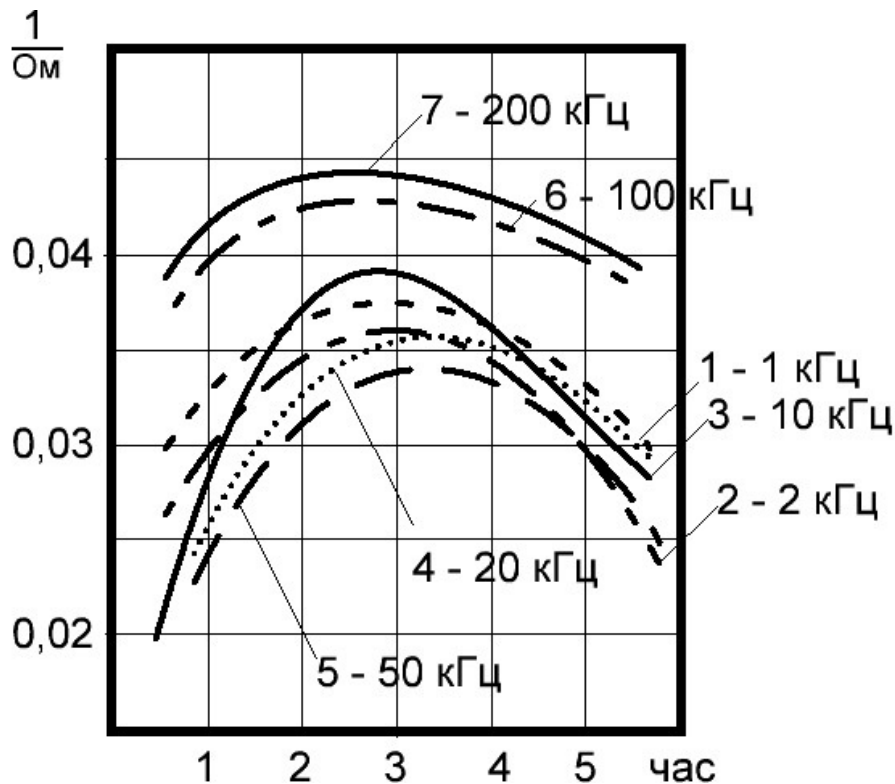
Исследования, проведенные с целью определения характера электропроводности бетонных смесей, показали значительное влияние на величину полного электросопротивления емкостной составляющей [2]. Был проведен сравнительный анализ изменений форм прямоугольных однополярных импульсов и чередующихся импульсов разной полярности, пропускаемых через бетонный образец в тиксотропный период его гидратации, по результатам экспериментальных исследований на установке согласно рис. 1.



**Рис. 1.** Функциональная схема устройства для исследования формы измерительного тока (рис. авторов)

Форма одиночных прямоугольных импульсов за время тиксотропного процесса показала, что их реактивная деформация мала по сравнению с абсолютной величиной изменения электропроводности образца. Это позволяет не учитывать реактивную составляющую в тиксотропный период гидратации, которая не вносит существенной погрешности в окончательный результат. Двухполярные прямоугольные импульсы дают аналогичный результат, т.к. кривые электропроводности в обоих случаях носят идентичный характер. Следовательно, форма измерительного тока не влияет на формообразование кривой, достаточно, чтобы измерительный ток был разнополярным.

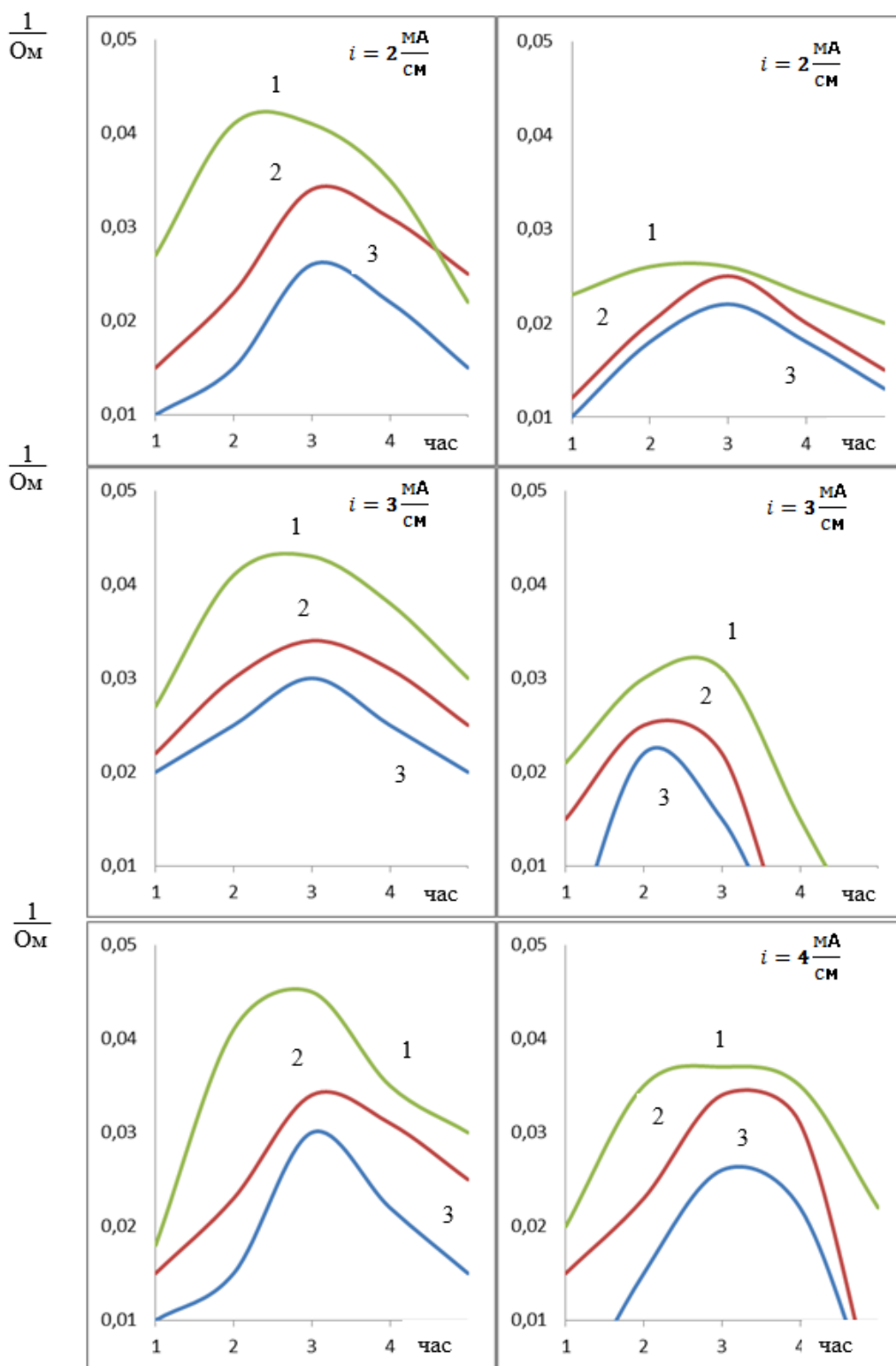
Результаты исследования влияния частоты измерительного тока на форму кривой электропроводности приведены на рис. 2.



*Рис. 2. Формообразование кривой электропроводности бетона в зависимости от частоты измерительного тока (рис. авторов)*

Кривые на рис. 2 показывают, что, изменение частоты тока в диапазоне от 1 кГц до 50 кГц (кривые 1–5) не влияет на общий вид кривой. При увеличении частоты от 100 кГц до 200 кГц (кривые 6–7) кривые становятся менее рельефны, а экстремальные точки не так ярко выражены.

Одним из способов уменьшения влияния деструктивных процессов на форму кривой электропроводности является увеличение плотности измерительного тока. Кривые изменения электропроводности в функции времени при различных плотностях тока показаны на рис. 3 (а - при плотности 2 мА/см<sup>2</sup>, б - при плотности 3 мА/см<sup>2</sup>, в - при плотности 4 мА/см<sup>2</sup>).

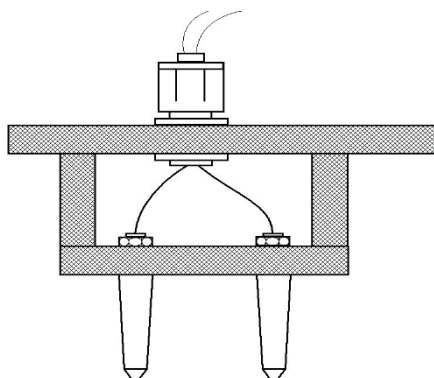


**Рис. 3.** Вариации формообразования кривых электропроводности в зависимости от плотности измерительного тока и марки применяемого цемента с составом: 1 - В/Ц – 0,5; 2 - В/Ц – 0,4; 3 - В/Ц – 0,3 (рис. авторов)

По данным эксперимента можно сделать вывод, что с увеличением плотности тока кривизна кривой в области экстремума и ее стабильность увеличиваются, а влияние деструктивных процессов на изменение электропроводности уменьшается. Однако снижение

водоцементного отношения при идентичной плотности тока изменяло форму кривой электропроводности и придавало ей большую кривизну в экстремальной точке.

Для определения значений электропроводности можно использовать датчики (рис. 4) с электродами гребенчатого или пластинчатого типа.

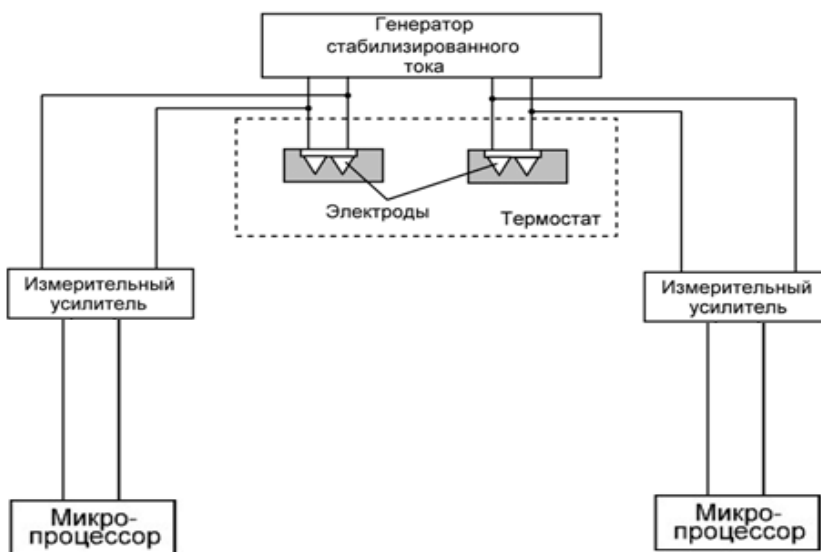


**Рис. 4.** Конструкция и общий вид датчиков электродов (рис. авторов)

Результаты экспериментов показали, что кривые электропроводности, полученные с помощью гребенчатых электродов, отличаются большей стабильностью, в сравнении с использованием пластинчатых электродов, из-за процесса контракции, вызывающего отслоение исследуемого образца от стенок формы.

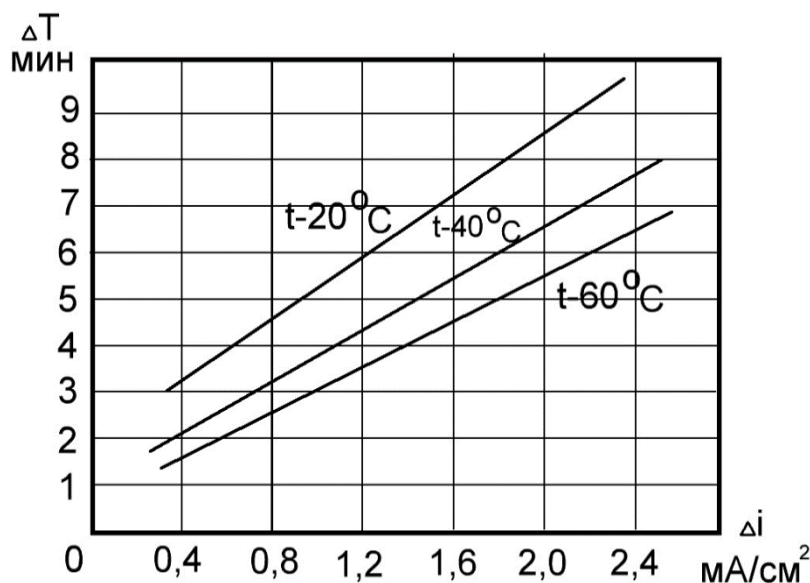
Было исследовано так же влияние нагрева бетона измерительным током различной плотности на процесс его схватывания.

Для измерения влияния нагрева образцов бетонной смеси использовался дифференциальный метод по опережению выхода экстремальной точки кривой электропроводности образца с более высокой плотностью тока к образцу с менее высокой плотностью тока. Аппаратный комплекс для проведения исследований (рис. 5) состоит из двухканального генератора стабилизированного тока, двух пар электродов гребенчатого типа, заформованных в образцы размером 10x10x10 см. Образцы помещаются в термостат. Регистрируемое напряжение подается через двухканальный усилитель на микропроцессор.



**Рис. 5.** Функциональная схема аппаратного комплекса для исследования влияния на ускорение процесса структурообразования увеличения плотности измерительного ток (рис. авторов)

Образцы помещаются в термостат с различными температурными режимами 20, 40, 60°C. Выбиралась бетонная смесь с составом: 1:1,7:2,4 с В/Ц=0,4. Замес бетонной смеси распределяется в две формы, в которые одновременно заформовываются электроды. Затем формы помещают в термостат и подключают к измерительному комплексу. Плотности тока в измеряемых образцах различны. По окончании эксперимента определялись зависимости разности времени появления экстремальной точки от разности плотностей тока, пропускаемого через образец при различных внешних условиях, рис. 6.



*Рис. 6. Ускорение процесса структурообразования в зависимости от перегрева образца при увеличении плотности измерительного тока (рис. авторов)*

### Обсуждение результатов

Результаты экспериментов так же показали, что увеличение плотности измерительного тока делает кривую электропроводности более рельефной, придавая ей большую кривизну в области экстремума. В свою очередь большая плотность измерительного тока увеличивает нагрев межэлектродного пространства, что, согласно с современными физико-химическими представлениями, ускоряет процесс схватывания и соответственно сдвигает на более раннее время появление на кривой первой экстремальной точки [2, 4].

Регистрируемое опережение выхода экстремальной точки в зависимости от плотности измерительного тока мало по абсолютной величине и стабильно, при принятых плотностях тока. На основании полуденных экспериментальных данных верхняя граница измерительных токов может быть поднята до 4 МА/см<sup>2</sup>.

Экспериментальные исследования показали, что на изменение характера кривой полной электропроводности бетона в основном влияет резистанс; форма переменного измерительного тока не влияет на точность результатов экспериментов.

Таким образом, наиболее эффективным методом измерений влияние нагрева образцов бетонной смеси, является дифференциальный метод по опережению выхода экстремальной точки кривой электропроводности образца с более высокой плотностью тока к образцу с менее высокой плотностью тока. Частота измерительного тока с учетом свойств электролитов и теплового воздействия должна находиться в диапазоне частот 5–10 кГц. С повышением плотности измерительного тока кривизна кривой формообразования электропроводности в

области экстремума увеличивается, а влияние деструктивных процессов на изменение электропроводности уменьшается [5, 9-11].

### **Выводы**

Полученные данные об особенностях процесса структурообразования бетона могут быть использованы при разработке устройства автоматического контроля и управления моментом приложения повторного вибрационного воздействия, на основе измерения электропроводности с использованием современных электронных средств.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы долговечности цементных бетонов / Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В. // Строительные материалы. 2011. №5. С. 38-41.
2. Статистические методы контроля качества при производстве цементобетона и цементобетонных смесей / Васильев Ю.Э., Полянский В.Г., Соколова Е.Р., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В. // Современные проблемы науки и образования. 2012. №4. С. 101.
3. Диагностика и паспортизация элементов улично-дорожной сети системой идеокомпьютерного сканирования / Васильев Ю.Э., Беляков А.Б., Кочетков А.В., Беляев Д.С. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. №3 (16). С. 55.
4. Состояние нормативного обеспечения инновационной деятельности дорожного хозяйства / Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В., Карпеев С.В. // Качество. Инновации. Образование. 2010. №9. С. 40.
5. Нормативное и технологическое развитие инновационной деятельности дорожного хозяйства / Аржанухина С.П., Кочетков А.В., Козин А.С., Стрижевский Д.А. // Интернет-журнал Науковедение. 2012. №4 (13). С. 69.
6. Статистические методы организации контроля качества при производстве дорожно-строительных материалов / Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В., Шляфер В.Л. // Качество. Инновации. Образование. 2011. №5 (72). С. 46-51.
7. Ларкин И.Ю., Марсов В.И., Мдивани В.Д. Автоматическое регулирования однородности дозируемых компонентов бетонной смеси. Сб. науч. тр. Секции «Строительство» РИА. 2005. Вып. 1. С. 151-156.
8. Ларкин И.Ю., Мдивани В.Д. Системы измерений параметров технологических процессов в строительстве // «Интерстроймех-2005»: Сборник докладов международной научно-технической конференции. - Тюмень, 2005. С. 24-27.
9. Ларкин И.Ю., Тихонов А.Ф., Марсов В.И. Математическая модель смешивания сыпучих составляющих строительных смесей // Механизация и автоматизация строительства и строительной индустрии. Сб. науч. тр. – М.: МГСУ. 2004. С. 96-99.
10. Ларкин И.Ю., Либенко А.В., Тихонов А.Ф. Автоматизация процесса управления однородностью компонентов бетонной смеси при перемешивании «Интерстроймех-2005»: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Тюмень. 2005. С. 114-118.
11. Колбасин А.М., Либенко А.В. Оптимизация состава многокомпонентной смеси при детерминированных ограничениях // Новые технологии в автоматизации управления. Сб. науч. тр. - М.: МАДИ. 2006. С. 69-72.

**Рецензент:** Статья рецензирована членами редколлегии журнала.

**Iluhin Andrey Vladimirovich**

Moscow state automobile and road technical university  
Russia, Moscow  
E-mail: [aviluhin@mail.ru](mailto:aviluhin@mail.ru)

**Marsov Vadim Izrailevich**

Moscow state automobile and road technical university  
Russia, Moscow  
E-mail: [Evmarsova@rambler.ru](mailto:Evmarsova@rambler.ru)

**Kolbasin Aleksandr Markovich**

Moscow state automobile and road technical university  
Russia, Moscow  
[alex081979@yandex.ru](mailto:alex081979@yandex.ru)

**Kochetkov Andrej Viktorovich**

Perm national research polytechnical university  
Russia, Saratov  
E-mail: [soni.81@mail.ru](mailto:soni.81@mail.ru)

**Makarov Alexander Dmitriyevich**

Moscow state automobile and road technical university  
Russia, Moscow  
E-mail: [madi-app@mail.ru](mailto:madi-app@mail.ru)

**Astafyev Mikhail Aleksandrovich**

Moscow state automobile and road technical university  
Russia, Moscow  
E-mail: [madi-app@mail.ru](mailto:madi-app@mail.ru)

## **Assessment of parametrical indicators of process of structurization of concrete**

**Abstract.** Results of research of features of process of structurization of concrete on the basis of measurement of its conductivity which can be used when developing electronic means of automatic control and management of the moment of the annex to ferroconcrete products of the repeated vibration influence which is effective means of increase of qualitative characteristics of products and receiving considerable economic effect are given.

Results of experiments showed that the conductivity curves received by means of edge electrodes differ in bigger stability, in comparison with use lamellar electrodes, because of the process of a counteraction causing peeling of the studied sample from form walls. Concrete heating influence by measuring current of various density on process of its skhvatyvaniye was investigated. For measurement of influence of heating of samples of concrete mix the differential method on an advancing of an exit of an extreme point of curve conductivity of a sample with higher density of current to a sample with less high density of current was used. The obtained data on features of

process of structurization of concrete can be used when developing the device of automatic control and management of the moment of the appendix of repeated vibration influence, on the basis of measurement of conductivity with use of modern electronic means.

**Keywords:** conductivity of concrete; measuring current; extremum; concrete structurization; vibration influence; management; control; measurement; regulation; measurement.

## REFERENCES

1. Problemy dolgovechnosti tsementnykh betonov / Rapoport P.B., Rapoport N.V., Kochetkov A.V., Vasil'ev Yu.E., Kamenev V.V. // Stroitel'nye materialy. 2011. №5. S. 38-41.
2. Statisticheskie metody kontrolya kachestva pri proizvodstve tsementobetona i tsementobetonnykh smesey / Vasil'ev Yu.E., Polyanskiy V.G., Sokolova E.R., Garibov R.B., Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. №4. S. 101.
3. Diagnostika i pasportizatsiya elementov ulichno-dorozhnoy seti sistemoy ideokomp'yuternogo skanirovaniya / Vasil'ev Yu.E., Belyakov A.B., Kochetkov A.V., Belyaev D.S. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. №3 (16). S. 55.
4. Sostoyanie normativnogo obespecheniya innovatsionnoy deyatel'nosti dorozhnogo khozyaystva / Arzhanukhina S.P., Sukhov A.A., Kochetkov A.V., Karpeev S.V. // Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie. 2010. №9. S. 40.
5. Normativnoe i tekhnologicheskoe razvitiye innovatsionnoy deyatel'nosti dorozhnogo khozyaystva / Arzhanukhina S.P., Kochetkov A.V., Kozin A.S., Strizhevskiy D.A. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2012. №4 (13). S. 69.
6. Statisticheskie metody organizatsii kontrolya kachestva pri proizvodstve dorozhno-stroitel'nykh materialov / Kochetkov A.V., Vasil'ev Yu.E., Kamenev V.V., Shlyafar V.L. // Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie. 2011. №5 (72). S. 46-51.
7. Larkin I.Yu., Marsov V.I., Mdivani V.D. Avtomaticheskoe regulirovaniya odnorodnosti doziruemykh komponentov betonnoy smesi. Sb. nauch. tr. Sektsii «Stroitel'stvo» RIA. 2005. Vyp. 1. S. 151-156.
8. Larkin I.Yu., Mdivani V.D. Sistemy izmereniy parametrov tekhnologicheskikh protsessov v stroitel'stve // «Interstroyemekh-2005»: Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Tyumen', 2005. S. 24-27.
9. Larkin I.Yu., Tikhonov A.F., Marsov V.I. Matematicheskaya model' smeshivaniya sypuchikh sostavlyayushchikh stroitel'nykh smesey // Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya stroitel'stva i stroitel'noy industrii. Sb. nauch. tr. – M.: MGSU. 2004. S. 96-99.
10. Larkin I.Yu., Libenko A.V., Tikhonov A.F. Avtomatizatsiya protsessa upravleniya odnorodnost'yu komponentov betonnoy smesi pri peremeshivanii «Interstroyemekh-2005»: Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. – Tyumen'. 2005. S. 114-118.
11. Kolbasin A.M., Libenko A.V. Optimizatsiya sostava mnogokomponentnoy smesi pri determinirovannykh ogranicheniyakh // Novye tekhnologii v avtomatizatsii upravleniya. Sb. nauch. tr. - M.: MADI. 2006. S. 69-72.