

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК [UDC] 691.32

DOI 10.17816/transsyst2021725-15

© **А. В. Агунов, И. А. Терёхин, И. А. Баранов**

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ БЕТОНОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

В настоящее время на территории Российской федерации массовое применение электропроводящих железобетонных конструкций в электроэнергетике отсутствует ввиду недостаточного опыта эксплуатации и низкому темпу исследований электропроводящих бетонов.

В статье сравниваются основные характеристики уже существующих электропроводящих бетонов. В работе показаны недостатки традиционного бетона и существующих электропроводящих бетонов. Выбран электропроводящий бетон, наиболее подходящий для проведения дальнейших исследований, испытаний и непосредственной модернизации состава на основании полученных результатов.

Основными недостатками существующих электропроводящих бетонов являются высокая стоимость и специфичность электропроводящих компонентов и других добавок, как следствие величина капиталовложений на массовое и крупносерийное производство, а также отсутствие опыта эксплуатации в качестве опор контактной сети.

Ключевые слова: заземление; система заземления опор контактной сети; тяговое электроснабжение; опора контактной сети; естественный заземлитель; железобетонный фундамент.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Design and construction of roads, subways

© **A. V. Agunov, I. A. Terekhin, I. A. Baranov**

Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I

(St. Petersburg, Russia)

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF ELECTRIC CONDUCTING CONCRETE IN THE POWER INDUSTRY

At present, on the territory of the Russian Federation, there is no massive use of electrically conductive reinforced concrete structures in the electric power industry due to insufficient operating experience and a low rate of research on electrically conductive concretes.

The article compares the main characteristics of existing electrically conductive concrete. The paper shows the disadvantages of traditional concrete and existing electrically conductive concrete. The electrically conductive concrete was selected, the most suitable for further research, testing and direct modernization of the composition based on the results obtained.

The main disadvantages of existing electrically conductive concretes are the high cost and specificity of electrically conductive components and other additives, as a consequence of the amount of capital investment in mass and large-scale production, as well as the lack of operating experience as overhead supports.

Key words: grounding; the grounding system of the contact network supports; traction power supply; contact network support; natural ground electrode; reinforced concrete foundation.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в электроэнергетической отрасли России особое внимание уделяется созданию и внедрению малообслуживаемых устройств, целью которых является снижение трудозатрат в процессе эксплуатации при сохранении показателей надежности. Высокий потенциал внедрения малообслуживающих устройств представляется в системе заземления, а именно применения железобетонных конструкций, выступающих в качестве естественных заземлителей. Исследованием электропроводящих свойств железобетонных конструкций в нашей стране занимается небольшой ряд ученых, которые в своих трудах [1–3] выявили основную проблему – нелинейность сопротивления при изменении температурно-влажностных условий.

Бетон в сухом состоянии является диэлектриком, однако, находясь во влажной среде, за счет наполнения пор влагой становится хорошим проводником электрического тока. При прохождении электрического тока через такой заземлитель происходит локальный нагрев и испарение поровой влаги бетона. Данные процессы приводят к изменению сопротивления, что в свою очередь является мешающим фактором для внедрения железобетонных конструкций в качестве естественных заземлителей.

С целью повсеместного использования железобетонных конструкций в качестве естественных заземлителей необходимо добиться постоянства электрического сопротивления, удовлетворяющего требованиям [4]. В настоящее время при проектировании электропроводящих бетонов используют два метода:

- включение в состав бетона токопроводящих добавок, изменяющих характеристики материала;
- применение специального композиционного бетона с функциями электропроводимости.

Результатом последнего метода стало создание в СССР электропроводящего бетона – бетэла, который может применяться в качестве конструкционного и электротехнического материала.

Регулирование структуры и фазового состава цементного камня и самого бетона, наряду с применением токопроводящих добавок, считается одним из главных направлений получения бетона с заданными электрическими характеристиками. Это достигается путем правильного выбора исходного заполнителя, вяжущего и добавок, а также созданием оптимальных условий твердения.

Нормативные документы, определяющие требования физических характеристик к электропроводящим бетонам [5–18].

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И СВОЙСТВ

Электропроводящий бетон может широко применяться для решения широкого спектра задач в гражданском и сельскохозяйственном строительстве. Например, из него могут изготавливаться панели перекрытий и стен, кровля с внутренним водостоком, полы, фундаменты и опоры воздушных линий электропередачи и другие ЖБК. Принципиальная схема электропроводящего бетона представлена на Рис.

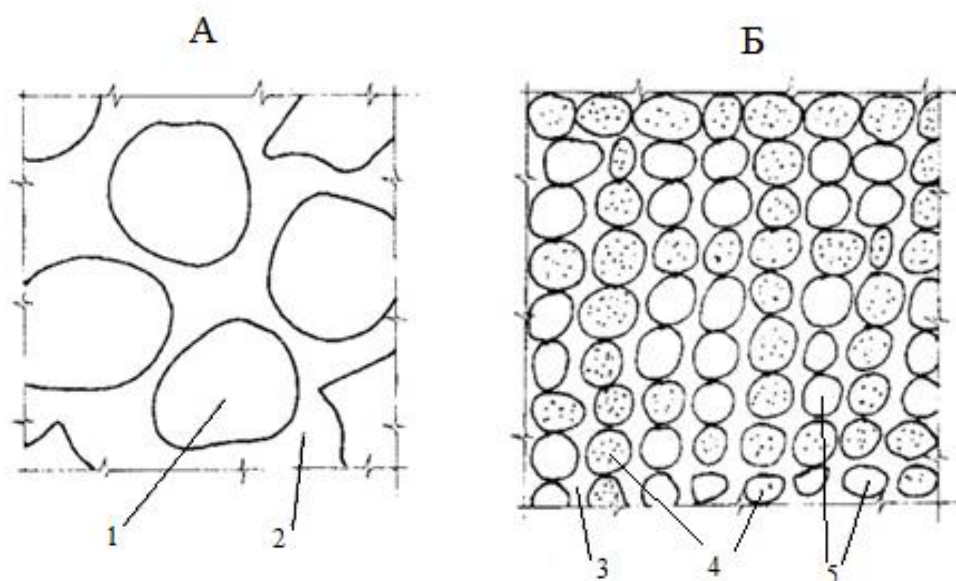


Рис. Принципиальная схема электропроводящего бетона:

- 1 – песок (диэлектрик-наполнитель);
- 2 – электропроводный металлосиликат;
- 3 – гелевая оболочка;
- 4 – агрегаты металлического порошка;
- 5 – агрегаты цемента

Сделав смесь в виде обычного бетона, где вместо песка использована сажа, получается материал с удельным сопротивлением $\sim 0,01\text{--}10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Это означает, что например резистор номиналом 100 Ом можно изготовить из бетонного параллелепипеда размером 10 см x 10 см x 1 м [4]. Здесь, правда, возникает проблема с вводом тока в такое сопротивление. Решение нашли достаточно простое – аквадаг (тонкий электропроводящий слой графита). Но к аквадагу, в свою очередь трудно присоединять контакты. Поэтому используют либо прижимные контакты как аквадагу, либо внедренные в тело композита разнообразные проволочные элементы. Нестабильное сопротивление, водопоглощение с последующим изменением многих параметров, (цементный камень продолжает расти в течение многих лет), малый коэффициент теплопроводности ($\sim 0.6 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$), не дает возможности создания мощных резисторов для энергетики. Точнее резисторы такие можно создать, но они могут работать только ограниченное время. Если нет теплопроводности (т.е. теплоотвода), то резистор за конечное время может нагреться до температур, при которых он начнет разрушаться. Известны случаи, когда бетэловые резисторы взрывались в процессе включения в эксплуатацию под большую нагрузку. Предполагается, что это происходило при попадании влаги внутрь резистора, что приводило к бурному вскипанию воды внутри материала при нагреве выше точки кипения после включения резистора под нагрузку. Опыт показывает, что бетэловый резистор можно включать только на несколько секунд.

При изготовлении бетона может использоваться различная связка, по которой и названы типы материала:

- пластобетон;
- составы на цементном вяжущем бетоне;
- полимерцементный бетон.

С точки зрения конструктивной, электрической и экономической эффективности наиболее подходящим считаются составы на цементном вяжущем бетоне, поскольку они, кроме высоких технико-экономических и конструктивных показателей, обладают достаточно хорошей дугостойкостью и короностойкостью.

Исследования электрических и прочностных свойств электропроводящего бетона показывают, что при его изготовлении можно обеспечить большой диапазон механических и электрических параметров:

- объемный вес: от 1,8 до 2,2 г/см³;
- прочность на растяжение: от 15 до 30 кг/см²;
- прочность на сжатие: от 85 до 250 кг/см²;
- удельное электрическое сопротивление: от 10 до 104 Ом/см;
- допустимая плотность тока: от 10 до 0,1 А/см²;
- рабочий диапазон температуры: от 60 до 150 °С;

- допустимая скорость перегрева: 200 °С/с;
- рабочая температура перегрева: 120 °С;
- удельная разрушающая энергия в случае однократного включения токовой нагрузки: от 230 до 300 Втс/см³;
- удельная теплоемкость: 0,22 ккал/г°С;
- удельный объем, при котором происходит рассеивание 1 МВтс энергии при перегреве материала на 1°С: 0,57.

Анализируемые электропроводящие бетоны приведены в Табл.

Таблица. Анализируемые электропроводящие бетоны

№	Название	Страна	Патент
1	Резистивный композиционный материал	РФ	№ 2231845, МПК H01C7/00, 2004 г.
2	Manufacturing method of portland cement with optical and electrical conducting properties	США	US6461424 B1, 2002 г.
3	Способ получения электропроводящего бетона	РФ	№ 2291130, МПК C04B28/04; C04B111/94, 2007 г.
4	Электропроводящий бетон	РФ	RU2665324C1, 2017 г.

Известен резистивный композиционный материал, состоящий из компонентов (патент РФ № 2231845, МПК H01C7/00, 2004 г.), мас. %:

- быстротвердеющий цемент 34–56;
- крупнодисперсная фракция шамота с размером частиц 0,15–2,5 мм – 1–35;
- кварцевый песок, фракция 0,2–2,5 мм – 1–34;
- коллоидный графит 3–15;
- мелкодисперсная фракция шамота с размером частиц 0,05–0,09 мм – 0,1–15;
- электрокорунд, фракция 0,1–0,5 мм – 0,1–20;
- минеральное волокно длиной 3–10 мм – 0–5.

К недостаткам данного материала относятся сложная рецептура и высокая цена большинства компонентов.

Известны составы электропроводящего бетона, которые включают 1–20 % портландцемента, 18–85 % золы и воду (патент US6461424 В1, 2002 г.).

Недостатком такого материала является низкий предел прочности на сжатие – 8,3 МПа.

Ещё одним, является электропроводящий бетон, содержащий цемент, песок, воду и порошкообразный графит, при следующем соотношении (патент РФ № 2291130, МПК С04В28/04; С04В111/94, 2007 г.), мас. %:

- порошкообразный графит 15–35;
- цемент 20–30;
- песок 25–45;
- вода.

Недостатками такого электропроводящего бетона являются низкие прочностные характеристики, сложность регулирования структурообразования и гомогенизации многокомпонентных систем, наличие ограниченной формы конечной продукции, что сужает спектр применения изделий и систем на их основе.

Но наиболее привлекательной для дальнейших исследований является электропроводящий бетон, разработанный в России Р.С. Федюком в 2017 г. [1], который включает портландцемент, песок, воду и углеродсодержащий компонент, в нем дополнительно используют золу уноса и гиперпластификатор, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

- портландцемент 10–14;
- песок 14–19;
- зола уноса 13–18;
- углеродсодержащий компонент 11,8–15,8;
- гиперпластификатор 0,2;
- вода 42.

При этом в качестве песка применяется термозитовый песок, а в качестве углеродсодержащего компонента – углеродистый шлам алюминиевого производства. Кроме того, все сухие компоненты подвергают механохимической активации в варио-планетарной мельнице до удельной поверхности 550 м/кг. Технический результат – оптимизация регулирования структурообразования и гомогенизация многокомпонентной системы, а также снижение стоимости конечной продукции, энерго- и ресурсоемкости производства.

Такой электропроводящий бетон может применяться в строительстве, электроэнергетике и, в частности, для создания опор и фундаментов для контактной сети, обладающих электропроводностью и

удельным сопротивлением, достаточным для того, чтобы использовать ЖБК в качестве естественных заземлителей.

Вышеуказанный бетон решает задачу увеличения сырьевой базы для производства электропроводящих бетонов с широким диапазоном потребительских свойств. И позволяет оптимально регулировать структурообразование и гомогенизацию многокомпонентной системы как за счет применения в составе бетонной смеси углеродных веществ, так и за счет совместного помола компонентов, а также снижении стоимости конечной продукции за счет использования в составе бетона техногенных отходов, что позволяет снизить стоимость производства.

При этом отличительные признаки формулы изобретения решают следующие функциональные задачи:

1. Признак, указывающий, что «дополнительно используют золу уноса» позволяет достичь снижения расхода портландцемента путем замены его активированным наполнителем техногенного происхождения.

2. Признак, указывающий, что «дополнительно используют гиперпластификатор», позволяет улучшить реологические характеристики бетонной смеси.

3. Признак, указывающий, что «в качестве песка применяется термозитовый песок, а в качестве углеродсодержащего компонента – углеродистый шлам алюминиевого производства...», позволяет снизить себестоимость производства бетона за счет применения дешевых отходов производства.

4. Признак, указывающий, что «все сухие компоненты подвергают механической активации», позволяет усилить реакционную способность активированного вещества без изменений его состава или строения.

5. Признаки, указывающие на соотношение масс, направлены на оптимизацию состава, направленную на достижение технического результата.

ВЫВОДЫ

Все электропроводящие бетоны имеют свои недостатки. Предлагаемый состав [1] электропроводящего бетона имеет следующие преимущества по сравнению с известными:

- повышены прочностные характеристики более чем в 2 раза при одновременном увеличении электропроводности до 2 раз по сравнению с прототипом;
- экономический эффект достигается за счет снижения расхода портландцемента путем замены его активированным наполнителем техногенного происхождения и применения в рецептуре термозитового песка и углеродистого шлама алюминиевого производства.

Особенности резистивных материалов обуславливают использование их модификаций для создания нагревательных элементов и конструкций объемного и пленочного типов, применяющихся в электрических системах для теплофикации в сфере общественного и промышленного строительства, жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве, а главное энергетике и т.д. Применение углеродсодержащих компонентов позволит обеспечить стабильность электрических свойств, что является одним из важнейших параметров для заземляющих опор без подключения к тяговому рельсу.

Опоры и фундаменты для контактной сети из данного бетона ещё не изучены и для их применения требуется проведение ряда исследований и опытов, как на пригодность прочностных показателей, ввиду механических воздействий со стороны окружающей среды и непосредственно контактной подвески, так и на соответствие электрических показателей для заземления данными опорами, такими как проверка токами коротких замыканий, расчёты в случае попадания молнии в линию и рядом, и прочие сопутствующие испытания для системы заземления.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов.
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

Библиографический список / References

1. Федюк Р.С., Кузьмин Д.Е., Батаршин В.О., и др. Электропроводящие бетоны для специальных сооружений // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. – 2017. – № 1. – С. 51–57. [Fedyuk RS, Kuzmin DE, Batarshin VO, et al. Electroconductive concrete for special structures. *Safety of the building fund of Russia. Problems and solutions.* 2017;(1):51-57. (In Russ.)]. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.769.3
2. Терехин И.А., Кремлев И.А., Кондратьев Ю.В. и др. Модельное представление сухого бетона железобетонного фундамента контактной сети, как электрического проводника // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 3. – С. 88–92. [Terekhin IA, Kremlev IA, Kondrat'ev YuV, et al. Model Representation of dry concrete reinforced concrete foundation catenary as an electrical conductor *Scientific problems of transport in Siberia and the Far East.* 2015;(3):88-92. (In Russ.)]. doi: 10.3103/s1068371220100090
3. Титова Т.С., Сацук Т.П., Терехин И.А., Тарабин И.В. Оценка условий электробезопасности при применении опор контактной сети в качестве естественных заземлителей // Электротехника. – 2021. – № 2. – С. 7–11. [Titova TS, Satsuk TP, Terekhin IA, Tarabin IV. Assessment of electrical safety conditions when using overhead contact network supports as natural grounding conductors. *Electrical*

- Engineering*. 2021;(2):7-11. (In Russ.)). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44749802>. Ссылка активна на 13.04.2021.
4. Правила устройства электроустановок 7е издание. Общие правила. Заземление и защитные меры безопасности. Утверждены Приказом № 204 Министерства энергетики Российской Федерации от 08.07.2002. [Pravila ustrojstva jelektroustanovok 7e izdanie. Obshhie pravila. Zazemlenie i zashhitnye mery bezopasnosti. Utverzhdeny Prikazom № 204 Ministerstva jenergetiki Rossijskoj Federacii ot 08.07.2002. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200030218>. Ссылка активна на 13.04.2021.
 5. СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования. Утверждён Постановлением № 80 Государственного комитета Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу от 23.07.2001 г. [Bezopasnost' truda v stroitel'stve. Chast' 1. Obshhie trebovanija. Utverzhdjon Postanovleniem № 80 Gosudarstvennogo komiteta Rossijskoj Federacii po stroitel'stvu i zhilishhno-kommunal'nomu kompleksu ot 23.07.2001 g. (In Russ.)]. Доступно по <https://docs.cntd.ru/document/901794520>. Ссылка активна на 13.04.2021.
 6. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. Утверждён Приказом № 763/пр Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 28.11.2018 г. [Stroitel'naja klimatologija. Utverzhdjon Prikazom № 763/pr Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo hozjajstva Rossijskoj Federacii ot 28.11.2018 g. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/554402860>. Ссылка активна на 13.04.2021.
 7. ГОСТ 13578-2019. Панели из легких бетонов на пористых заполнителях для наружных стен производственных зданий. Технические требования. Утверждён Приказом № 170-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.04.2019 г. [Paneli iz legkih betonov na poristyh zapolniteljah dlja naruzhnyh sten proizvodstvennyh zdanij. Tehnicheskie trebovanija. Utverzhdjon Prikazom № 170-st Federal'nogo agentstva po tehničeskomu regulirovaniju i metrologii ot 26.04.2019 g. (In Russ.)]. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/437231595>. Ссылка активна на 13.04.2021.
 8. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола. Утверждён Постановлением № 169 Государственного комитета СССР по делам строительства от 14.10.1976 г. [Cementy. Metody opredelenija tonkosti pomola. Utverzhdjon Postanovleniem № 169 Gosudarstvennogo komiteta SSSR po delam stroitel'stva ot 14.10.1976 g. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/871001225>. Ссылка активна на 13.04.2021.
 9. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Утверждён Приказом № 2071-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.12.2012 г. [Betony. Metody opredelenija prochnosti po kontrol'num obrazcam. Utverzhdjon Prikazom № 2071-st Federal'nogo agentstva po tehničeskomu regulirovaniju i metrologii ot 27.12.2012 g. (In Russ.)]. Ссылка активна на 13.04.2021. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200100908>.
 10. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и растворов. Технические условия. Утверждён Приказом № 97-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31.05.2012 г. [Voda dlja betonov i rastvorov. Tehnicheskie uslovija. Utverzhdjon Prikazom № 97-st Federal'nogo agentstva po tehničeskomu regulirovaniju i metrologii ot 31.05.2012 g. (In Russ.)]. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200093835>. Ссылка активна на 13.04.2021.

11. ГОСТ 19906-74. Нитрит натрия технический. Технические условия. Утверждён Постановлением № 1581 Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 28.06.1974 г. [Nitrit natrija tehničeskij. Tehničeskie uslovija. Utverzhdjon Postanovleniem № 1581 Gosudarstvennogo komiteta standartov Soveta Ministrov SSSR ot 28.06.1974 g. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200019079>. Ссылка активна на 13.04.2021.
12. ГОСТ 828-77. Натрий азотнокислый технический. Технические условия. Утверждён Постановлением № 2842 Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 09.12.1977 г. [Natrij azotnokislyj tehničeskij. Tehničeskie uslovija. Utverzhdjon Postanovleniem № 2842 Gosudarstvennogo komiteta standartov Soveta Ministrov SSSR ot 09.12.1977 g. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200019005>. Ссылка активна на 13.04.2021.
13. ГОСТ 10178-76. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. Утверждён Постановлением № 116 Государственного комитета СССР по делам строительства от 10.07.1985 г. [Portlandcement i shlakoportlandcement. Tehničeskie uslovija. Utverzhdjon Postanovleniem № 116 Gosudarstvennogo komiteta SSSR po delam stroitel'stva ot 10.07.1985 g. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/871001094>. Ссылка активна на 13.04.2021.
14. ГОСТ 28570-2019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций. Утверждён Приказом № 172-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.04.2019 г. [Betony. Metody opredelenija prochnosti po obrazcam, otabrannym iz konstrukcij. Utverzhdjon Prikazom № 172-st Federal'nogo agentstva po tehničeskemu regulirovaniju i metrologii ot 26.04.2019 g. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200164023>. Ссылка активна на 13.04.2021.
15. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Утверждён Приказом № 2072-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.12.2012 г. [Izdelija betonnye i zhelezobetonnye dlja stroitel'stva. Obshhie tehničeskie trebovanija. Pravila priemki, markirovki, transportirovanija i hranenija. Utverzhdjon Prikazom № 2072-st Federal'nogo agentstva po tehničeskemu regulirovaniju i metrologii ot 27.12.2012 g. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200101281>. Ссылка активна на 13.04.2021.
16. СП 435.1325800.2018. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ. Утверждён Приказом № 746/пр Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 26.11.2018 г. [Konstrukcii betonnye i zhelezobetonnye monolitnye. Pravila proizvodstva i priemki rabot. Utverzhdjon Prikazom № 746/pr Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo hozjajstva Rossijskoj Federacii ot 26.11.2018 g. буквами (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/554818837>. Ссылка активна на 13.04.2021.
17. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. Утверждён Приказом № 71-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13.05.2011 г. [Smesi betonnye. Tehničeskie uslovija. Utverzhdjon Prikazom № 71-st Federal'nogo agentstva po tehničeskemu regulirovaniju i metrologii ot 13.05.2011 g. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200085075>. Ссылка активна на 13.04.2021.

18. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Утверждён Приказом № 130-ст Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12.04.2019 г. [Betony. Pravila kontrolja i ocenki prochnosti. Utverzhdjon Prikazom № 130-st Federal'nogo agentstva po tehničeskomu regulirovaniju i metrologii ot 12.04.2019 g. (In Russ.)]. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/1200164028>. Ссылка активна на 13.04.2021.

Сведения об авторах:

Агунов Александр Викторович, д.т.н. профессор;

eLibrarySPIN: 5231-2930;

E-mail: alexagunov@mail.ru

Терёхин Илья Александрович, к.т.н., доцент;

eLibrary SPIN: 6947-0053; ORCID: 0000-0002-9873-4795;

E-mail: terekhin_ilya@mail.ru

Баранов Иван Александрович, студент;

eLibrary SPIN: 1808-9260; ORCID: 0000-0001-5540-0608;

E-mail: baranov@pgups.ru

Information about authors:

Agunov Alexander V., Doctor of Technical Sciences, professor;

eLibrarySPIN: 5231-2930; AuthorID 249776;

E-mail: alexagunov@mail.ru

Terekhin Ilya A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

eLibrary SPIN: 6947-0053; ORCID: 0000-0002-9873-4795;

E-mail: terekhin_ilya@mail.ru

Baranov Ivan A., student;

eLibrary SPIN: 1808-9260; ORCID: 0000-0001-5540-0608;

E-mail: baranov@pgups.ru

Цитировать:

Агунов А.В., Терёхин И.А., Баранов И.А. Анализ применения электропроводящих бетонов в электроэнергетике // Транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 5–15. doi: 10.17816/transsyst2021725-15

To cite this article:

Agunov AV, Terekhin IA, Baranov IA. Analysis of the use of electrically conductive concretes in the power industry. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):5-15. doi: 10.17816/transsyst2021725-15