

УДК 677.014  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_235

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ СПЕЦОДЕЖДЫ  
ДЛЯ ТОРКРЕТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ\***

**SOLUTION OF PROBLEMS OF WORKWEAR  
FOR TORCRETING USING ELECTROSTATICS**

*В.Я. МИЩЕНКО, А.Л. СЕМЕНОВ, Д.В. ЛОБОДА*

*V.YA. MISHCHENKO, A. L. SEMENOV, D. V. LOBODA*

**(Воронежский государственный технический университет)**

**(Voronezh State Technical University)**

E-mail: ala\_sem@mail.ru

***В технологии индустриального строительства давно и успешно применяется торкретирование. Группой ученых был разработан инновационный метод нанесения торкрет-бетона на ограждающие конструкции с приме-***

---

\* Работа поддержана проектом № 3.1.1.1 Плана фундаментальных исследований Российской архитектурно-строительной академии на 2021-2023 гг. и Министерства строительства и коммунального хозяйства Российской Федерации. Исследования, результат которых изложен в данной работе, проводились с использованием оборудования ЦКП имени проф. Ю.М. Борисова ВГТУ, при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № 075-15-2021-662.

\* This research was supported by Project # 3.1.1.1 within the 2021-2023 Plan of Fundamental Research of the Russian Academy of Architecture and Civil Engineering and Ministry of Civil Engineering and Public Utilities of the Russian Federation. The experimental studies have been carried out using the facilities of the Collective Research Center named after Professor Yu.M. Borisov, Voronezh State Technical University, which is partly supported by the Ministry of Science and Education of the Russian Federation, Project No 075- 15-2021-662.

*нением технологии электростатического электричества для снижения отскока материала. Есть большой зарубежный и отечественный опыт применения таких методов в лакокрасочном производстве, но с внедрением новой технологии успешный опыт нанесения окрашивающих веществ предлагается перенести в торкретирование ограждающих конструкций. Несмотря на очевидный экономический эффект от использования такого способа нанесения, работа с электричеством сопряжена с рядом опасностей. Так, возникает необходимость в спецодежде, которая бы выполняла роль клетки Фарадея и защищала специалиста как от поражения током, так и от вредного воздействия электромагнитного поля. В статье предлагается использовать инновационные антистатические ткани, в которых мастер по торкретированию мог длительное время безопасно работать в условиях контакта с электростатикой.*

*Shotcrete has been successfully used in industrial construction technology for a long time. A group of scientists has developed an innovative method of applying shotcrete to building envelopes using electrostatic electricity technology to reduce material rebound. There is a large foreign and domestic experience in the application of such methods in paint and varnish production, but with the introduction of a new technology, it is proposed to transfer the successful experience of applying coloring substances to the gunning of enclosing structures. Despite the obvious economic effect of using this method of application, working with electricity is fraught with a number of dangers. So, there is a need for overalls that would perform the role of a Faraday cage and protect a specialist from both electric shock and the harmful effects of an electromagnetic field. The article proposes the use of innovative anti-static fabrics, in which the gunning master could safely work for a long time under conditions of contact with electrostatics.*

**Ключевые слова:** спецодежда, торкретирование, электростатика, трибо-статика, клетка Фарадея, антистатика, скин-эффект, защитная одежда, MXene.

**Keywords:** overalls, gunning, electrostatics, tribostatics, Faraday cage, anti-static, skin effect, protective clothing, MXene.

В настоящее время все большую популярность приобретают технологии набрызга бетона на различные конструкции, откосы, ограждающие сооружения, своды тоннелей. Применение такого способа нанесения смесей связано с довольно высоким отскоком и соответственно с потерей части материала, который повторно уже не используется. Группой ученых был разработан способ предотвращения отскока, увеличения плотности усадки частиц является торкретирование с применением электростатической зарядки распыляемого материала [1], [5], [6].

Электростатическая зарядка материала давно и успешно применяется при электростатической покраске. Между окрашиваемой поверхностью и распыляемой краской создается разность потенциалов, движение частиц осуществляется по возникающим силовым линиям. Частички краски, стремясь компенсировать потенциал, заполняют поверхность окрашиваемого материала, в первую очередь, свободную от краски, тем самым наиболее выгодно компенсируя разность потенциалов. Таким образом, окрашивание осуществляется наиболее ровным и упорядоченным слоем [7].

При торкретировании с применением электростатики задача несколько иная. Разность потенциалов создается в основном за счет зарядки положительным (или отрицательным) зарядом подаваемого раствора в торкрет-форсунке. Поверхность для набрызга заземляется. Заземление осуществляется за счет проливания торкретируемой поверхности водой, связи с металлической арматурой. Эффективность процесса электростатического торкретирования по одному из существенных факторов обусловлена емкостью конструкции к снятию потенциала от заряженных частиц набрызгиваемого торкрет-бетона. Зарядка частиц торкрет-бетона имеет импульсную составляющую. Зарядка происходит в момент прохода торкрет бетона через форсунку с интегрированной изолированной обкладкой заряжающего конденсатора высокого напряжения. Разрядка также имеет максимальное значение в момент контакта заряженной частицы с поверхностью.

Данное распределение заряда объясняется согласно закону Кулона.

Таким образом, изменение вектора движения частички торкрет-бетонной смеси при превышении кинетического порога удержания частички на поверхности гасится обратным импульсным погашением заряда частицы на заземленной поверхности.

Частицы заряжаются на этапе распыления различными способами.

1. Прямой изолированный от внешней среды потенциал различной мощности (от 20 до 150 кВольт), который создает мощное электромагнитное поле и обеспечивает проходящему потоку торкрет-смеси передачу необходимого количества электронов, достаточных для эффективного удержания частиц при их контакте с поверхностью.

2. Ионизированный газ, который заряжается потенциалом ранее и в процессе смешивания, равномерно распределяет заряд по торкрет-бетону.

3. Трибостатическая зарядка, где заряд частички торкрет-бетона получают путем трения при пневмотранспорте сухой смеси и в последующем при вращении в форсунке.

Создаваемый потенциал в торкрет-смеси любым из перечисленных способов при незначительных объемах торкретирования не является критически опасным для жизнедеятельности человека, но может создавать серьезный дискомфорт в работе, что связано с работой с током высокого напряжения, а также накоплением электростатического электричества на одежде.

Таким образом, торкретирование с применением электро- или трибостатики с одной стороны, повысит эффективность работы, снизит потерю материала при отскоке, но, с другой, вызовет необходимость в спецодежде, которая защищала бы не только от загрязнений, но и от воздействия электромагнитных полей.

В настоящее время в РФ действует целый ряд государственных стандартов, которые описывают стандарты работы человека в опасных электромагнитных условиях. Это ГОСТ (12.1.002–84, 12.1.006–84, 12.1.045–84 и др.), различные СанПиН, ориентировочные безопасные уровни воздействия переменных магнитных полей разных частот (ОБУВ), ПДУ и другие нормативные документы в области электробезопасности. Они устанавливают ограничения по продолжительности и уровню воздействия электромагнитного поля на организм человека. Кроме того, регламентируются гигиенические требования и контроль за условиями труда при работе с электроприборами и электрическими полями.



Рис. 1

Существует множество способов защиты от угрозы поражения электрическим

током. Один из самых эффективных – одежда с электростатической защитой, которая может быть сделана по принципу клетки Фарадея (рис. 1). Этот способ достаточно прост. Если в зону действия электрического поля вносится замкнутый контур, обладающий свойствами электропроводности, электроны данного контура начинают двигаться под силой воздействием поля. Противоположные стороны контура заряжаются так, что внутреннее поле компенсирует внешнее.

Однако о таком методе защиты имеет смысл говорить лишь при воздействии электрического или переменного электромагнитного поля. Клетка Фарадея не является экраном от воздействия статического магнитного поля, которое будет проникать внутрь контура и влиять на объект внутри.

Очевидно, что если меняется электрическое поле, меняется и порожденное им электромагнитное. Если оболочка клетки будет блокировать первое поле, второе также не будет воздействовать.

При воздействии волн высокой частоты они отражаются от поверхности клетки. При этом возникают потоки в виде вихрей и затухают в толще контура с потерей тепла.

По мере того, как электромагнитная волна проникает внутрь проводника, ее амплитуда уменьшается (скин-эффект). Ток распределяется в тонком поверхностном скин-слое, не проникая внутрь, а сопротивление вглубь растет.

В результате этого эффекта, например, переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется неравномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое. Постоянный ток распределяется в проводнике равномерно.

Способность клетки Фарадея экранировать электромагнитное излучение определяется:

- толщиной материала, из которого она изготовлена;
- глубиной скин-эффекта;
- соотношением размеров проемов в ней с длиной волны внешнего излучения.

В табл. 1 (толщина скин-слоя в меди) приведены данные по частоте электросети в разных регионах Земли.

Т а б л и ц а 1

Частота, Гц	Толщина скин-слоя, мм	Частота электросети
50	9,34	Евразийский регион
50	9,34	Африканский регион
60	8,53	Американский регион

Авторами было учтено, что ток, используемый при торкретировании, создаст электромагнитное поле, а следовательно возникнет и скин-эффект. Толщина скин-слоя для диэлектрика (хлопчатобумажной ткани) стремится к бесконечности, но для идеального проводника (металлических волокон в спецодежде) – к нулю. Таким образом, облучение электромагнитным полем не проникнет внутрь одежды и будет отражаться от ее поверхности, вызывая характерный металлический блеск [11], [12].

Для защиты человека от электростатического напряжения соответственно необходимо разработать защитную одежду, которая бы создавала эффект клетки Фарадея и выполняла роль экрана. Размер ячейки клетки зависит от длины волны излучения (должен быть значительно меньше). Так, например, при длине волны 16 см ячейку в защитной решетке формируют с размером 2 см.

Частота тока в бытовой электросети составляет 50 Гц ей соответствует длина радиоволны 6000 км.

Если длина волны известна заранее, можно без труда рассчитать размеры экрана и расстояние элементов его конструкции друг от друга.

Одежду можно сшить из готовых тканей с интеграцией в их состав металлических сеток. Важнее всего, чтобы ячейки были устроены по расчету, а слои были непроводящими внутри и проводниками – внешне. Внутренний слой обычно делают из диэлектриков.

Форма клетки Фарадея не влияет на эффективность ее работы [13...15].

Проводящий материал не влияет на активность клетки, пока он способен проводить электричество.

Наличие заземления для клетки Фарадея является необязательным, но дополнительным средством безопасности в случае возникновения наэлектризованности токопроводящих материалов клетки. Данная мера безопасности наиболее актуальна в случае промышленного торкретирования с применением электростатики.

Отсутствие влаги – основной критерий, влияющий на безопасность внутри клетки фарадея и создающий гарантированный защитный эффект. Поэтому торкретирование с применением электростатики должно производиться в непромокаемой спецодежде с антистатическим эффектом. Как уже было сказано, экранирование с помощью клетки Фарадея от постоянного магнитного поля невозможно. Зато переменное магнитное поле отражается без затруднений, и при работе с торкрет-бетоном можно защитить человека как от электрических, так и от электромагнитного воздействия полей.

Многие фирмы выпускают специальные ткани со встроенными антиэлектростатическими нитями. Например, специалисты компании "Чайковский текстиль" применяют способ смешивания нитей со специальной пряжей из волокон нержавеющей стали Bekitex (Бельгия). Такая ткань и после 100 стирок сохраняет свои свойства и обладает высоким удельным сопротивлением [2], [7...9].

Однако отметим, что ткань с антистатическим эффектом на основе никелевого, кобальтового, алюминиевого, цинкового и многих других покрытый не допускают непосредственный контакт с телом человека, повышают вес одежды. В связи с этим желаемого эффекта антистатики стоит добиваться путем непосредственного модифицирования льняной или хлопчатобумажной ткани материалами-проводниками, например, погружением тканей в коллоидные растворы переходных металлов толщиной несколько атомов (MXene), что придаст ткани высокое сопротивление. Ряд исследований свидетельствуют о том, что по-

мимо возникновения эффекта защиты от электрического тока такая ткань будет еще и частично антибактериальной [10], [11].

Заземление костюма для электростатики не предусмотрено в связи с тем, чтобы исключить разность потенциалов между одеждой и потоком заряженных частиц.

Конструкция костюма должна иметь целостность проводящих элементов для создания эффекта клетки Фарадея для соответствующего накопления разноименных потенциалов.

Толщина материала костюма должна превышать 1 см, для компенсации скин-слоя, так как применение спецодежды может быть в условиях бытовой электросети с частотой тока 50 Гц. Данное условие необходимо в случае торкретирования с применением электростатики, так как данная технология отличается наличием влажности среды и необходимостью гарантированной защиты от проникновения электростатического напряжения внутрь защитной одежды [3], [4].

Таким образом, существует необходимость разработки специальных тканей для эффективной защиты при торкретировании с применением электро- или трибостатики. Очевидно, что научность этой темы высока, но еще слабо разработана и требует дополнительных исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абраменко А.А., Мищенко В.Я., Семенов А.Л., Горбанева Е.П.* Моделирование параметров технологического процесса сухого торкретирования поверхностей строительных конструкций // Известия вузов. Строительство. – 2020, №7. С. 36...46.
2. *Анисович А.Г., Акула П.П., Ласковнев А.П., Маркевич М.И., Чекан Н.М.* Морфология поверхности, магниторезонансные и антистатические свойства ткани с углеродным покрытием, модифицированным кластерами металлов // Литье и металлургия. – 2020, №3. С. 79...83.
3. *Власов В.Б., Умывакин В.М., Добросоцких М.Г.* Методические вопросы измерения экологической опасности продукции текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №5.
4. *Гатиятуллина Р.Ф., Бадрутдинова А.Н.* Влияние относительной влажности воздуха на антиста-

тические свойства текстильных материалов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014, 17 (18). С. 69...70.

5. *Кайтуков Б.А., Степанов М.А.* Выбор технологического оборудования для торкретирования // Механизация строительства. – 2017, №11. С.30...34.

6. *Калашиников В.И.* Перспективы использования реакционно-порошковых сухих бетонных смесей в строительстве // Строительные материалы. – 2009, №7. С.59...62.

7. *Мещерякова О.К., Мищенко В.Я., Мещерякова М.А., Баринов В.Н.* Ресурсосбережение предприятий текстильной промышленности – путь инновационного развития сферы жилищно-коммунального хозяйства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, №1. С.67...72.

8. *Мищенко В.Я., Алексеева Д.В., Фомиченко Т.А.* Применение энергоэффективных экологически чистых теплоизоляционных материалов // В сб. научн. тр. Всерос. научн.-практ. конф.: Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений. Юго-Западный государственный университет. – 2019. С. 162...165.

9. *Николаев С. Д., Сильченко Е.В.* Защита человека от электромагнитного излучения при помощи тканей // Вестник технологического университета. – 2015, №(18)15. С. 161...166.

10. Сайт "Лакпром" // URL: <https://lkmprom.ru/courses/tehnologiya/nanesenie-poroshkovykh-pokrytiy/> (дата обращения: 22.10.2021).

11. *Салимова А.И.* Современные текстильные материалы с комплексом новых потребительских свойств // Вестник технологического университета. – 2015, (18)9. С. 199...201.

12. Энциклопедия АСУ ТП // URL: <https://bhttps://www.bookasutp.ru/Default.aspx/>. (дата обращения: 22.10.2021).

13. *Gretton H., Hartnagel H. and Hutson V.* Faraday cages with transverse magnetic field for microwave tubes // IEEE Transactions on Electron Devices. – Vol. 21, № 1. P. 126...128, Jan. 1974, doi: 10.1109/T-ED.1974.17875.

14. *Pääkkönen R., Farrugia L., Tarao H., Gobba F. and L. Korpinen L.* Possibilities to decrease the extremely low-frequency electric field exposure with a Faraday cage under a 400 kV power line // Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS). – 2016. P.2109...2112, doi: 10.1109/PIERS.2016.7734884.

15. *Tan D. et al.* Carbon Nanotube Based Faraday's Cage for RF Circuit Packaging // IEEE Transactions on Nanotechnology. – Vol. 17, №6, P. 1295...1298, Nov. 2018, doi: 10.1109/TNANO.2018.2874653.

1. *Abramenko A.A., Mishchenko V.Ya., Semenov A.L., Gorbaneva E.P.* Modelirovanie parametrov tekhnologicheskogo protsessa sukhogo torkretirovaniya poverkhnostey stroitel'nykh konstruktсий // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. – 2020, №7. S. 36...46.

2. *Anisovich A.G., Akula P.P., Laskovnev A.P., Markevich M.I., Chekan N.M.* Morfologiya poverkhnosti, magnitorezonansnye i antistaticheskie svoystva tkani s uglerodnym pokrytiem, modifitsirovannym klasterami metallov // Lit'e i metallurgiya. – 2020, №3. S. 79...83.

3. *Vlasov V.B., Umyvakin V.M., Dobrosotskikh M.G.* Metodicheskie voprosy izmereniya ekologicheskoy opasnosti produktsii tekstil'noy promyshlennosti // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, №5.

4. *Gatiyatullina R.F., Badrutdinova A.N.* Vliyanie odnositel'noy vlazhnosti vozdukhа na antistaticheskie svoystva tekstil'nykh materialov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2014, 17 (18). S.69...70.

5. *Kaytukov B.A., Stepanov M.A.* Vybor tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya torkretirovaniya // Mekhanizatsiya stroitel'stva. – 2017, №11. S. 30...34.

6. *Kalashnikov V.I.* Perspektivy ispol'zovaniya reaktsionno-poroshkovykh sukhikh betonnykh smesey v stroitel'stve // Stroitel'nye materialy. – 2009, №7. S.59...62.

7. *Meshcheryakova O.K., Mishchenko V.Ya., Meshcheryakova M.A., Barinov V.N.* Resursosberezhenie predpriyatiy tekstil'noy promyshlennosti – put' innovatsionnogo razvitiya sfery zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, №1. S.67...72.

8. *Mishchenko V.Ya., Alekseeva D.V., Fomichenko T.A.* Primenenie energoeffektivnykh ekologicheskikh chistykh teploizolyatsionnykh materialov // V sb. nauchn. tr. Vseros. nauchn.-prakt. konf.: Innovatsionnye metody proektirovaniya stroitel'nykh konstruktсий zdaniy i sooruzheniy. Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. – 2019. S. 162...165.

9. *Nikolaev S. D., Sil'chenko E.V.* Zashchita cheloveka ot elektromagnitnogo izlucheniya pri pomoshchi tkaney // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2015, №(18)15. S. 161...166.

10. Сайт "Лакпром" // URL: <https://lkmprom.ru/courses/tehnologiya/nanesenie-poroshkovykh-pokrytiy/> (дата обращения: 22.10.2021).

11. *Calimova A.I.* Sovremennye tekstil'nye materialy s kompleksom novykh potrebitel'skikh svoystv

// Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2015, (18)9. S. 199...201.

12. Entsiklopediya ASU TP // URL: <https://Vhttps://www.bookasutp.ru/Default.aspx/>. (data obra-shcheniya: 22.10.2021).

13. Gretton H., Hartnagel H. and Hutson V. Faraday cages with transverse magnetic field for micro-wave tubes // IEEE Transactions on Electron Devices. – Vol. 21, № 1. P. 126...128, Jan. 1974, doi: 10.1109/T-ED.1974.17875.

14. Pääkkönen R., Farrugia L., Tarao H., Gobba F. and L. Korpinen L. Possibilities to decrease the extremely low-frequency electric field exposure with a

Faraday cage under a 400 kV power line // Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS). – 2016. P.2109...2112, doi: 10.1109/PIERS.2016.7734884.

15. Tan D. et al. Carbon Nanotube Based Faraday's Cage for RF Circuit Packaging // IEEE Transactions on Nanotechnology. – Vol. 17, №6, P. 1295...1298, Nov. 2018, doi: 10.1109/TNANO.2018.2874653.

Рекомендована кафедрой технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью. Поступила 17.11.21.