

УДК 685.34.03

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-47-56

Установление корреляционных зависимостей антистатических показателей материалов для производства обуви специального назначения

О. А. Белицкая^{*,1}, В. В. Костылева^{*}

** Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия*

Аннотация

Накопление электростатических зарядов на материалах — это большая проблема во многих отраслях промышленности, в частности, в ситуациях, когда «неконтролируемые» заряды присутствуют рядом с легковоспламеняющимися материалами и жидкостями. Но риски возгорания из-за накопления электростатических зарядов, а также источники возгораний и взрывов, возможно контролировать, если правильно подходить к проблеме электростатической защиты всего производственного процесса. Один из элементов защиты человека от электростатических зарядов во время производственных процессов — это антистатическая обувь. При этом свойства антистатической обуви напрямую зависят от материалов, из которых она изготавливается. Поэтому необходимо изучать антистатические свойства материалов для проектирования конструкций антистатической обуви. В данной работе рассмотрены показатели напряженности электростатического поля (ЭСП) и поверхностного электрического сопротивления материалов для верха обуви и установлены между ними корреляционной зависимости для прогнозирования электростатических свойств обувных материалов в зависимости от их состава.

Ключевые слова

Обувные материалы, электростатика, напряженность электростатического поля, электростатическое поле, электрическое сопротивление, накопление электростатического заряда, специальная обувь, антистатическая обувь.

¹ Для переписки:

Email: belitskaya-oa@rguk.ru

Введение

Производство промышленного и компьютерного оборудования, полупроводников, аккумуляторов, медицинская и аэрокосмическая промышленность, производство электротехники и телекоммуникационного оборудования, нефтегазоперерабатывающая отрасль — это лишь некоторые из отраслей, в которых используется антистатическая обувь для защиты от электростатических разрядов. Наиболее опасная ситуация наблюдается при работе в нефтегазоперерабатывающей отрасли, где уровень напряженности электростатического поля может достигать 300 кВ/м и выше, при допустимом уровне 15 кВ/м [1–10].

Антистатическая обувь по ГОСТ Р ЕН ИСО 20345-2011 [11] подразделяется на три вида: электропроводная обувь с электрическим сопротивлением в диапазоне от 0 до 100 кОм; антистатическая обувь с сопротивлением от 100 кОм до 1000 МОм; диэлектрическая обувь с сопротивлением более 1000 МОм. Антистатическая обувь должна использоваться при необходимости минимизировать электростатическое нарастание путем рассеивания электростатического заряда, тем самым избегая риска возникновения искрового зажигания, например, от воспламеняющихся веществ и испарений, и если риск удара током от любого электрического аппарата или токоведущих частей полностью не исключен.

Оценка электростатической безопасности обуви во многом связана с материалами, из которых она изготавливается [12–14]. Значения показателей электростатической безопасности материалов рекомендуется устанавливать по методике определения напряженности электростатического поля, которая распространяется на изделия, создающие электростатические поля в диапазоне измеряемых величин 0,3–300 кВ/м. Электрическое

сопротивление материалов также является важным показателем, характеризующим антистатический статус материала.

В работе предполагается изучить вышеперечисленные параметры для материалов верха обуви и установить между ними корреляционную зависимость для прогнозирования электростатических свойств материалов.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения

В процессе эксплуатации обуви происходит трение стопы о стельку и подкладку, что вызывает образование и накопление зарядов статического электричества. Для проведения исследования антистатических показателей выбраны образцы обувных материалов с различным химическим составом (таблица 1).

Оценка напряженности электростатического поля образцов материалов проводилась по методике, описанной в ГОСТ 32995-2014 «Материалы текстильные. Методика измерения напряженности электростатического поля» [15]. По нормативу предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля на поверхности текстильных материалов и изделий из них не должен превышать 15 кВ/м.

Перед основным экспериментом проведен разведывательный эксперимент [16], который позволил заключить, что:

- уровень трибоэлектрического поля испытуемого материала выходит в режим насыщения практически при 5–кратном воздействии валика на поверхность испытуемого материала. Увеличение циклов воздействия до 10 повышает напряженность поля не более чем на 10%;
- заземление проводящей поверхности валика, которая граничит с чехлом валика из полиамидной ткани, приводит к уменьшению уровня трибоэлектрического поля над поверхностью испытуемого материала

на 10–40%, следовательно это действие выполнять не рекомендуется;

– увеличение силы трения между поверхностями испытуемого материала и валика повышает трибоэлектрический эффект на 70–200%, что не противоречит теоретической модели трибоэлектрического процесса;

– эксперименты показали, что два различных способа передвижения валика по

поверхности испытуемого материала путем скольжения или прокатывания, когда задействованы различные силы трения (сила скольжения или сила качения, соответственно) между поверхностями двух материалов, равнозначны. Существенных отличий измеренных значений электростатических полей при этом не обнаружено.

Таблица 1 — Материалы для деталей верха обуви

№ образца	Материал
1	Триплированный материал — ИК + пенополиуретан + полиамид
2	Триплированный материал — ИК + пенополиуретан + вискоза
3	Натуральная кожа
4	Дублированный материал — полиэфир + пенополиуретан
5	Дублированный материал — полиэфир + пенополиуретан
6	Дублированный материал — полиамид + пенополиуретан
7	Дублированный материал — полиэфир + пенополиуретан
8	Дублированный материал — полиэфир + пенополиуретан
9	Дублированный материал — полиэфир/полиамид + хлопок
10	100% полиэфир
11	100% хлопок
12	100% полиэфир
13	100% хлопок
14	100% полиамид
15	100% хлопок
16	45% хлопок, 22% в/ш, 22% п/э, 11% лён
17	50% хлопок, 50% вискоза
18	100% п/э
19	99% хлопок, 1% антистатическая нить
20	100% латекс
21	100% пара-арамидное волокно K29 Kevlar®
22	98 % полиэфир, 2 % проводящее карбоновое волокно
23	99% полиэфир, 1% проводящее карбоновое волокно
24	100% хлопок
25	79% хлопок, 20% п/э, 1% антистатическая нить
26	87% хлопок, 12% нейлон
27	80% хлопок, 19% п/э, 1% антистатическая нить
28	100% хлопок
29	98% п/э, 2% антистатическая нить
30	100% хлопок
31	60% модакрил, 39% хлопок, 1% антистатическая волокно

Оценка поверхностного электрического сопротивления испытуемых материалов проводилась по методике, описанной в ГОСТ Р 53734.2.3-2010 (МЭК 61340-2-3:2000) «Электростатика. Часть 2.3. Методы определения электрического сопротивления твердых плоских материалов, используемых с целью предотвращения накопления электростатического заряда» [17]. Для проведения испытаний использовался прибор измерения поверхностного сопротивления покрытий и относительной влажности воздуха VKG A-770 с диапазоном измерения от 10 до 10^{14} Ом.

Результаты и обсуждение

Каждый испытуемый образец подвергался трем испытаниям по методике, описанной в ГОСТ 32995-2014, показатели напряженности ЭСП фиксировались каждые 6 секунд в течение минуты после воздействия на образец валиком. Последующее измерение проводилось после того, как напряженность ЭСП плоского металлического электрода составляла менее 0,35 кВ/м. Ниже представлены типичные результаты испытаний образцов материалов для верха обуви (рисунок 1–3).

Общая гистограмма средних величин напряженности ЭСП образцов представлена на рисунке 4

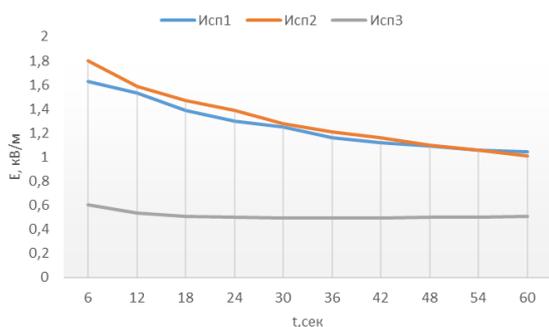


Рисунок 1 — Зависимость напряженности ЭСП от времени у образца № 1

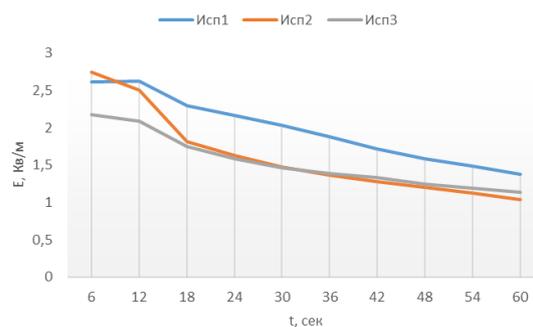


Рисунок 2 — Зависимость напряженности ЭСП от времени у образца № 2

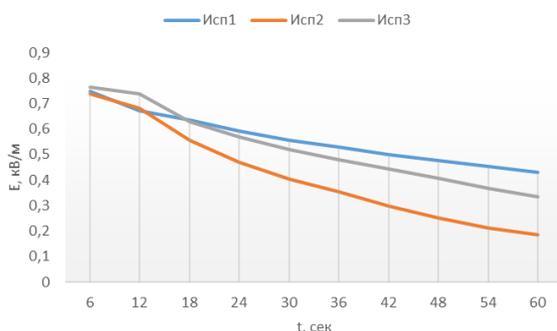


Рисунок 3 — Зависимость напряженности ЭСП от времени у образца № 3

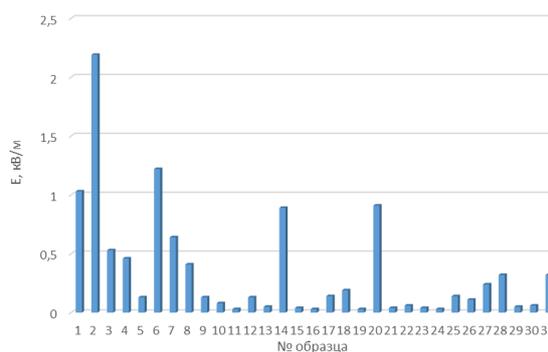


Рисунок 4 — Сводная гистограмма средних величин напряженности ЭСП образцов

Испытания позволили выявить единую тенденцию — постепенное уменьшение показателя напряженности ЭСП на поверхности образца со временем, что подтверждает теоретическую модель трибоэлектрического процесса, а именно релаксацию электростатического заряда. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что ни один из образцов не обладает напряженностью, превышающей 15 кВ/м, что не противоречит требованиям стандарта.

Результаты оценки поверхностного электрического сопротивления испытуемых материалов, проведенной по методике, описанной в ГОСТ Р 53734.2.3-2010 (МЭК 61340-2-3:2000) представлены на рисунке 5.

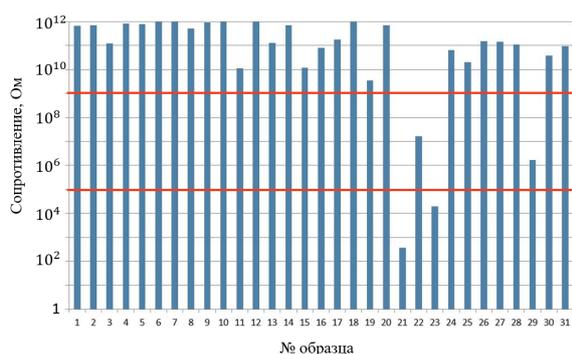


Рисунок 5 — Результаты измерения поверхностного электрического сопротивления образцов

Для каждого образца электрическое сопротивление измерялось в десяти точках, результатом испытания считалось среднее значение. Видно, что большинство значений находится в диапазоне более 1000 МОм, следовательно материалы можно отнести к категории «изолирующих», максимальные значения у полиэстера и полиэфира. Образцы под № 22 (98% полиэфир, 2% проводящее карбоновое волокно) и № 29 (98% п/э, 2% антистатическая нить) — можно отнести к категории «рассеивающих» — электрическое сопротивление составляет от 100 кОм до 1000 МОм. Образцы № 21 (100%

пара-арамидное волокно) и № 23 (99% полиэфир, 1% проводящее карбоновое волокно) — являются «проводящими» с электрическим сопротивлением до 100 кОм.

Результаты исследования позволяют разделить образцы на 3 группы.

В первую группу вошли образцы под номерами 5, 9–10, 12, 18 — напряженность ЭСП на поверхности этих образцов достаточно низкая, а электрическое сопротивление высокое, поэтому построить корреляционную зависимость не представляется возможным. Такие результаты можно объяснить тем, что химический состав образцов схож с составом ткани валика в методике измерения напряженности ЭСП, то есть с 100% полиамидом.

Во вторую группу вошли образцы № 11, 13, 15–17, 19, 21, 22–26, 29–31, у которых и напряженность ЭСП, и электрическое сопротивление имеют достаточно низкие значения.

В третью группу вошли образцы, по значениям напряженности ЭСП и электрического сопротивления которых можно построить корреляцию: № 1–4, 6–8, 20, 27–28. Результаты корреляционного анализа приведены на рисунке 6.

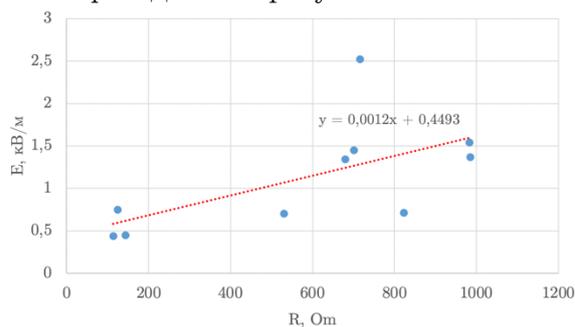


Рисунок 6 — Корреляционная зависимость напряжения ЭСП и электрического сопротивления материалов для верха обуви

На графике показана прямая положительная линейная зависимость между показателями, коэффициент корреляции Пирсона составил 0.6174, коэффициент

корреляции Спирмена составил 0.6970, сила связи — средняя.

Заключение

Итоги проведенной нами работы показывают, что по результатам измерения напряженности ЭСП и электрического сопротивления материалов для верха обуви возможно построить корреляционные зависимости, которые позволят прогнозировать антистатические свойства обувных материалов в зависимости от их состава. Полученные результаты позволяют рекомендовать материалы № 21–23 и 29 для производства антистатической обуви. Антистатические нити в составе этих образцов не дают статическому электричеству накапливаться на поверхности материала, возможность возникновения искры сводится к нулю, а если нет искры — нет воспламенения или взрыва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Кечиев Л. Н., Пожидаев Е. Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. М.: Издательский Дом «Технологии», 2005, 352 с.
- [2]. Белицкая О. А., Леденева И. Н. Основы моделирования трибоэлектрических свойств материалов для обуви: Монография. М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2014, 91 с.
- [3]. Static Control Measures. ESD Control Handbook. 3M Innovation, 2002, 20 p.
- [4]. Изгородин А. К., Семикин А. П. Электризация волокнистых материалов. Иваново: ИГТА, 2002, 200 с.
- [5]. Актуальные проблемы и новые технологии освоения месторождений углеводородов Ямала в XXI веке. *Материалы отраслевой научно-практической конференции. Приложение к журналу «Наука и техника в газовой промышленности»*. Москва, 2004, с. 320–329.
- [6]. Кашуба В. А., Амелькович Ю. А. Анализ вредных и опасных факторов на предприятиях нефтегазового комплекса. Информационные технологии (ИТ) в контроле, управлении качеством и безопасности. *Сборник научных трудов VIII Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее»*, 2019, с. 106–109.
- [7]. Рябов Ю. Г., Салихов З. С., Шологин О. Н., Мурашов А. И., Котляров А. А. Концепция потенциальной электромагнитной безопасности. *Экология и промышленность России*, июль 2005, с. 42–45.
- [8]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Riesgos debido a la electricidad estática, Madrid, 2015. NIPO: 272-15-036-2 (In Esp).
- [9]. Göcsei G., Németh B., Berta I. Inspection of the efficiency of conductive clothing examination. *Special Issue on The International Conference on Electrostatics, Electrostatics 2017*, Edited by Klaus Schwenzfeuer, 2017, vol. 88, pp. 121–126
- [10]. Egan S. Learning lessons from five electrostatic incidents. *Special Issue on The International Conference on Electrostatics, Electrostatics 2017*, Edited by Klaus Schwenzfeuer, 2017, vol. 88, pp. 183–189
- [11]. ГОСТ Р ЕН ИСО 20345-2011 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты ног. Обувь защитная. Технические требования. М.: ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ», 2012
- [12]. Smallwood J., Swenson D. E., Viheriäkoski T. Relationship between footwear resistance and personal grounding through footwear and flooring. *40th Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium (EOS/ESD)*, 2018, pp. 1–8
DOI: 10.23919/EOS/ESD.2018.8509789.

[13]. Smallwood J., Swenson D. E. Evaluation of performance of footwear and flooring systems in combination with personnel using voltage probability analysis. *13th International Conference on Electrostatics IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 301*, 2011, p. 012064.
DOI: 10.1088/1742-6596/301/1/012064

[14]. Belitskaya O. A., Fokina A. A., Rykova E. S., Panferova E. G. Testing the Electrical Resistance of Materials for Protective Footwear Production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 1079.
DOI: 10.1088/1757-899X/1079/5/052067

[15]. ГОСТ 32995-2014 Материалы текстильные. Методика измерения напряженности электростатического поля. М.: ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ», 2017

[16]. Поленкова П. С., Белицкая О. А. Апробация методики измерения напряженности электростатического поля по ГОСТ 32995-2014 на примере материалов, используемых для заготовки верха обуви. *Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции (24–26 марта 2021 г.). Часть 2*, 2021, с. 178–181

[17]. ГОСТ Р 53734.2.3-2010 (МЭК 61340-2-3:2000) Электростатика. Часть 2.3. Методы определения электрического сопротивления твердых плоских материалов, используемых с целью предотвращения накопления электростатического заряда. М.: ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ», 2017.

Белицкая Ольга Александровна — канд. техн. наук, заведующая кафедрой «Технология кожи и меха» Российского государственного университета имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Костылева Валентина Владимировна — д-р техн. наук, заведующая кафедрой «Художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи» Российского государственного университета имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Determination of correlation dependences of antistatic indicators of materials for the production of footwear for special purposes

О. А. Belitskaya^{*1}, V. V. Kostyleva^{}**

** The Kosygin State University of Russia, Moscow, Russia*

Abstract

The buildup of electrostatic charges on materials is a big problem in many industries, particularly in situations where "uncontrolled" charges are present near flammable materials and liquids. But the risks of ignition due to the accumulation of electrostatic charges, as well as the sources of fires and explosions, can be controlled if the problem of electrostatic protection of the entire production process is properly approached. One of the elements of protecting a person from electrostatic charges during production processes is antistatic shoes. At the same time, the properties of antistatic shoes directly depend on the materials from which they are made. Therefore, it is necessary to study the antistatic properties of materials for the design of antistatic footwear structures. In this paper, the indicators of the electrostatic field strength (ESF) and the surface electrical resistance of materials for the uppers of shoes are considered and a correlation between them is established to predict the electrostatic properties of shoe materials depending on their composition.

Keywords

Shoe materials, electrostatics, electrostatic field strength, ESP, electrical resistance, electrostatic charge accumulation, special footwear, antistatic footwear.

REFERENCES

- [1]. Kechiyev L. N., Pozhidayev Ye. D. Zashchita elektronnykh sredstv ot vozdeystviya staticheskogo elektrichestva [Protection of electronic devices from the effects of static electricity]. Moscow: Izdatel'skiy Dom «Tekhnologii» Publ., 2005, 352 p. (In Russ.)
- [2]. Belitskaya O. A., Ledeneva I. N. Osnovy modelirovaniya triboelektricheskikh svoystv materialov dlya obuvi: Monografiya [Fundamentals of modeling the triboelectric properties of footwear materials: Monograph]. Moscow: FGBOU VPO «MGUDT» Publ., 2014, 91 p. (In Russ.)
- [3]. Static Control Measures. ESD Control Handbook. 3M Innovation, 2002, 20 p.
- [4]. Izgorodin A. K., Semikin A. P. Elektrizatsiya voloknistykh materialov [Electrification of fibrous materials]. Ivanovo: IGTA Publ., 2002, 200 p. (In Russ.)

¹ *Corresponding author:*

Email: belitskaya-oa@rguk.ru

- [5]. Aktual'nyye problemy i novyye tekhnologii osvoyeniya mestorozhdeniy uglevodorodov Yamala v XXI veke [Actual problems and new technologies for the development of hydrocarbon deposits in Yamal in the 21st century]. *Materialy otraslevoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Prilozheniye k zhurnalu «Nauka i tekhnika v gazovoy promyshlennosti»* [Materials of branch scientific-practical conference. Supplement to the journal «Science and technology in the gas industry»]. 2004, pp. 320–329. (In Russ.)
- [6]. Kashuba V. A., Amel'kovich Yu. A. Analiz vrednykh i opasnykh faktorov na predpriyatiyakh neftegazovogo kompleksa. Informatsionnyye tekhnologii (IT) v kontrole, upravlenii kachestvom i bezopasnosti [Analysis of harmful and dangerous factors at the enterprises of the oil and gas complex. Information technology (IT) in control, quality and security management]. *Sbornik nauchnykh trudov VIII Mezhdunarodnoy konferentsii shkol'nikov, studentov, aspirantov, molodykh uchenykh «Resursoeffektivnyye sistemy v upravlenii i kontrole: vzglyad v budushcheye»* [Collection of scientific papers of the VIII International Conference of schoolchildren, students, graduate students, young scientists «Resource-efficient systems in management and control: a look into the future»]. 2019, pp. 106–109. (In Russ.)
- [7]. Ryabov Yu. G., Salikhov Z. S., Shologin O. N., Murashov A. I., Kotlyarov A. A. Kontseptsiya potentsial'noy elektromagnitnoy bezopasnosti [The concept of potential electromagnetic safety]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2005, pp. 42–45. (In Russ.)
- [8]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Riesgos debido a la electricidad estática, Madrid, 2015. NIPO: 272-15-036-2 (In Esp.)
- [9]. Göcsei G., Németh B., Berta I. Inspection of the efficiency of conductive clothing examination. *Special Issue on The International Conference on Electrostatics, Electrostatics 2017*, Edited by Klaus Schwenzfeuer, 2017, vol. 88, pp. 121–126
- [10]. S. Egan. Learning lessons from five electrostatic incidents. *Special Issue on The International Conference on Electrostatics, Electrostatics 2017*, Edited by Klaus Schwenzfeuer, 2017, vol. 88, pp. 183–189
- [11]. GOST R EH ISO 20345-2011 Sistema standartov bezopasnosti truda. Sredstva individual'noy zashchity nog. Obuv' zashchitnaya. Tekhnicheskiye trebovaniya [System of labor safety standards. Personal protective equipment for legs. Protective footwear. Technical requirements]. Moscow: FSUE «STANDARTIFORM» Publ., 2012 (In Russ.)
- [12]. Smallwood J., Swenson D. E., Viheriäkoski T. Relationship between footwear resistance and personal grounding through footwear and flooring. *40th Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium (EOS/ESD)*, 2018, pp. 1–8
DOI: 10.23919/EOS/ESD.2018.8509789.
- [13]. Smallwood J., Swenson D. E. Evaluation of performance of footwear and flooring systems in combination with personnel using voltage probability analysis. *13th International Conference on Electrostatics IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 301*, 2011, p. 012064.
DOI: 10.1088/1742-6596/301/1/012064
- [14]. Belitskaya O. A., Fokina A. A., Rykova E. S., Panferova E. G. Testing the Electrical Resistance of Materials for Protective Footwear Production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 1079.
DOI: 10.1088/1757-899X/1079/5/052067
- [15]. GOST 32995-2014 Materialy tekstil'nyye. Metodika izmereniya

napryazhennosti elektrostatischekogo polya [Textile materials. Method for measuring the strength of the electrostatic field] Moscow: FSUE «STANDARTIMFORM» Publ., 2017. (In Russ.)

[16]. Polenkova P. S., Belitskaya O. A. Aprobatsiya metodiki izmereniya napryazhennosti elektrostatischekogo polya po GOST 32995-2014 na primere materialov, ispol'zuyemykh dlya zagotovki verkha obuvi [Approbation of the technique for measuring the strength of the electrostatic field according to GOST 32995-2014 on the example of materials used for the preparation of shoe uppers]. *Fundamental'nyye i prikladnyye nauchnyye issledovaniya v oblasti inklyuzivnogo dizayna i tekhnologiy: opyt, praktika i perspektivy: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (24–26 marta 2021 g.)*. [Fundamental and

applied scientific research in the field of inclusive design and technologies: experience, practice and prospects: a collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference (March 24–26, 2021)]. Part 2, 2021, pp. 178–181. (In Russ.)

[17]. GOST R 53734.2.3-2010 (М·ЕК 61340-2-3:2000) Elektrostatika. Chast' 2.3. Metody opredeleniya elektricheskogo soprotivleniya tverdykh ploskikh materialov, ispol'zuyemykh s tsel'yu predotvrashcheniya nakopleniya elektrostatischekogo zaryada [Electrostatics. Part 2.3. Methods for determining the electrical resistance of solid flat materials used to prevent the accumulation of an electrostatic charge]. Moscow: FSUE «STANDARTIMFORM» Publ., 2017. (In Russ.)

Belitskaya O. A. — Cand. Sc. (Eng.), Head of Department of Leather and fur technology, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071, Russian Federation).

Kostyleva V. V. — Dr. Sc. (Eng.), Head of Department of Art Modeling, Design and Technology of Leather Products, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071, Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Установление корреляционных зависимостей антистатических показателей материалов для производства обуви специального назначения / О. А. Белицкая, В. В. Костылева // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2. № 3(5). С. 47 – 56.
DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-47-56

Please cite this article as:

Belitskaya O. A., Kostyleva V. V. Determination of correlation dependences of antistatic indicators of materials for the production of footwear for special purposes. *Industrial processes and Technologies*, 2022, vol. 2., no. 3(5), pp. 47 – 56.
DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-47-56