

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
НА ТРИБОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
МАТЕРИАЛОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОБУВИ**

**INFLUENCE OF CLIMATE PARAMETERS
ON TRIBOELECTRIC PROPERTIES
OF SPECIAL FOOTWEAR MATERIALS**

О.А. БЕЛИЦКАЯ, А.А. ФОКИНА, Е.С. РЫКОВА, И.А. МАКСИМОВА, Ю.С. КОНАРЕВА

O.A. BELITSKAYA, A.A. FOKINA, E.S. RYKOVA, I.A. MAKSIMOVA, Yu.S. KONAREVA

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: belitskaya-oa@rguk.ru; fokina-aa@rguk.ru; rykova-es@rguk.ru;
maksimova-ia@rguk.ru; job-rgutdi@mail.ru

Изучение трибоэлектрических свойств материалов необходимо для проектирования конструкций антистатической обуви. Антистатическая обувь – это один из элементов защиты человека от электростатических зарядов во время производственных процессов. Электростатические заряды, накапливаясь на теле, одежде и обуви человека, могут повреждать электронные компоненты, выводить из строя чувствительное измерительное оборудование, а также быть причиной возникновения возгораний и детонации взрывов в нефтегазовом производстве. Антистатическая обувь преимущественно изготавливается из материалов, которые способны проводить заряд в землю и препятствуют его накоплению. В условиях пониженных температур накопление электростатических зарядов и их стекание меняется. Поэтому задача исследования трибоэлектрических свойств материалов, из которых изготавливается специальная обувь, в широком диапазоне температур является актуальной.

Целью статьи является измерение напряженности электростатического поля и постоянной времени релаксации электростатических зарядов для наружных, внутренних и промежуточных материалов верха обуви на трибоэлектрической динамической установке, совмещенной с камерой тепла-холода ТЭК 50/60, которая позволяет исследовать свойства обувных материалов в широком диапазоне температур от -50°C до +60°C. Показано, что у обувных материалов с понижением температуры возрастает время релаксации электростатического заряда и сила заряда.

The study of the triboelectric properties of materials is necessary for the design of antistatic footwear structures. Antistatic footwear is one of the elements to protect a person from electrostatic charges during production processes. Electrostatic charges accumulating on the body, clothing and footwear of a person can damage electronic components, disable sensitive measuring equipment, and also cause fires and detonation of explosions in the oil and gas industry. Antistatic footwear is made from materials that are capable of conducting charge into the ground and prevent it from accumulating. At low temperatures, the accumulation of electrostatic charges and their drainage change. Therefore, the task of studying the triboelectric properties of materials from which special shoes are made is relevant in a wide temperature range.

The aim of the article is to measure the strength of the electrostatic field and the relaxation time constant of electrostatic charges for the outer, inner and intermediate materials of the upper of the shoe on a triboelectric dynamic installation combined with the heat-cold chamber TEK 50/60, which allows you to study the properties of shoe materials in a wide temperature range from - 50 ° C to + 60 ° C. It is shown that with decreasing temperature in shoe materials, the relaxation time of the electrostatic charge and the charge strength increase.

Ключевые слова: трибоэлектрические свойства, обувные материалы, широкий диапазон температур, антистатическая обувь, обувь, электростатические заряды.

Keywords: triboelectric properties, footwear materials, wide temperature range, antistatic footwear, footwear, electrostatic charges.

Введение

Нефтегазоперерабатывающий комплекс Российской Федерации формирует немалую долю денежных поступлений страны, при этом увеличиваются доходы северных регионов и растет число высокотехнологичных рабочих мест. Большая часть углеводородных ресурсов находится в месторождениях Севера и Арктики. Освоение этих ресурсов и увеличение экономического потенциала северных регионов обозначено в государственной программе "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации", утвержденной Правительством РФ 30 марта 2021 г. № 484 [1].

Специалисты Федерального исследовательского центра "Кольский научный центр Российской академии наук" констатируют, что "...несмотря на значительные перспективы, освоение арктического шельфа Российской Федерации связано с серьезными вызовами и проблемами, прежде всего обусловленными спецификой природной среды и проявлением рискфакторов, отсутствующих в умеренных широтах, что требует принципиального технологического и технического перевооружения отрасли" [2].

При этом необходимо разрабатывать и реализовывать технологические инновации для обеспечения конкурентоспособности арктических промыслов. Уровень системы индивидуальной защиты человека необходимо повышать, особенно в тяжелых климатических условиях, что недостаточно

учитывается в нормативно-технической документации в настоящее время.

Проектирование специальной антистатической обуви базируется на системе государственных стандартов, разработанных и принятых к использованию в течение последнего десятилетия. Как известно, интенсивное развитие обувной промышленности существенно расширило ассортимент обувных материалов, однако их свойства не всегда учтены в ГОСТах, особенно в условиях пониженных температур.

Процессы добычи, транспортирования, хранения, переработки и реализации нефтепродуктов характеризуются чередой периодических аварий и катастроф. Человеческий фактор становится причиной до 70% аварийных ситуаций (по данным МЧС – до 80 %), природные факторы – 10...15%, техногенные факторы – 10...20% [3].

Проведенный анализ [4...9] производственных условий предприятий нефтегазовой отрасли, как наиболее крупной и интенсивно развивающейся, показал, что наличие распределенных электрических зарядов, которые создают электростатические поля на одежде и теле работников в процессе выполнения технологических операций, обуславливают высокую взрывоопасность. Возникающие электростатические разряды способны зажигать горючие газы, пары или пыль, находящиеся в воздушной среде. Возникновение искры может привести к объемному взрыву. В результате детонации взрывов и пожаров наносится ущерб

производству и персоналу. Согласно статистике причиной взрывов паровоздушных смесей в 27% случаев является статическое электричество.

Основными факторами, которые способствуют возникновению повышенной взрывоопасности на производствах нефтегазодобычи в условиях Крайнего Севера, являются:

- наличие повышенной концентрации горючих веществ в воздухе;
- резкое снижение скоростей релаксации зарядов с поверхностей диэлектриков (одежда, обувь) в условиях низких температур;
- нарушение надежности заземлений металлоконструкций.

В процессе производства человек является одним из главных источников возникновения и накопления электростатических зарядов. Появление статического электричества наблюдается при выполнении практически всех операций. На теле и одежде работника накапливается электростатический потенциал, который образуется за счет контактной электризации элементов одежды и обуви. В условиях низких температур в атмосферном воздухе содержится малое количество водяного пара, поэтому наружная часть обуви сильно электризуется по сравнению с частями обуви, прилегающими к стопе, где влажность существенно выше за счет теплового излучения кожи человека.

Поэтому исследования электростатических свойств обувных материалов необходимо проводить не только в нормальных климатических условиях, но и в реальных условиях их эксплуатации – при пониженных и повышенных температурах.

Методы

Проведены испытания на установке для исследования трибоэлектрических свойств материалов, совмещенной с камерой теплехолода ТЭК 50/60, которая позволяет исследовать свойства обувных материалов в широком диапазоне температур (-50 °С до +60 °С).

Установка представляет собой камеру теплехолода ТЭК 50/60, в которой распо-

ложена динамическая установка, состоящая из нескольких узлов: двух пластин, выполняющих роль конденсатора, на нижней заземленной пластине закреплен испытуемый материал; узла образования электростатического заряда (перемещение контактной пары) и узла измерения электростатических зарядов.

Испытания проходят следующим образом:

1) перед включением блока перемещения контактной пары измеряется первоначальное значение напряженности поля (фон испытуемого образца);

2) фаза насыщения электростатического заряда при включенной контактной паре (насыщение наступает, когда величина напряженности электростатического поля перестает повышаться и достигает точки максимума) [10];

3) фаза спада заряда при выключенной контактной паре (для измерения времени релаксации электростатического заряда).

Испытания проводились в диапазоне температур от -30°С до +30°С, относительная влажность воздуха составляла 65±5 %, погрешность измерения 15 %.

Для испытаний в камере теплехолода ТЭК 50/60 нами выбраны материалы: № 1 – юфть термопластическая; № 2 – спилок яловый; № 3 – нетканый материал "Cambrell"; № 4 – нитроискожа-Т и № 5 – бязь термопластическая. В качестве материала контактной пары используется хлопок 100%.

Результаты и обсуждения

На рис. 1 (изменение напряженности ЭСП образца № 1 в широком диапазоне температур) представлены результаты лабораторных измерений материала №1 – юфть термопластическая, используемого для деталей верха. Видно, что с понижением температуры возрастает фоновое и максимальное значение электростатического заряда. Четко прослеживается три температурных интервала. В интервале от +15 до +30°С заряд находится на уровне 10 кВ/м. При понижении температуры с +10 до -10°С электризация увеличивается в 2...3 раза. В интервале от -15 до -30°С электри-

зация достигает максимальной величины 140 кВ/м.

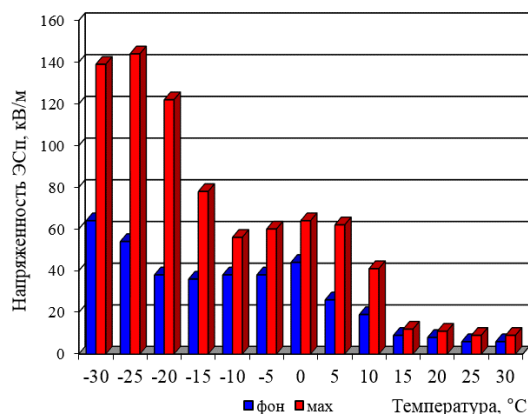


Рис. 1

На рис. 2 (изменение напряженности ЭСП образца № 2 в широком диапазоне температур) представлены результаты лабораторных измерений материала №2 – спилек яловый, использующегося для деталей подкладки. В интервале температур от +15 до +30°C электризация составляет около 20 кВ/м, с понижением температуры просматривается явное увеличение электризации и при -30 °C напряженность электростатического поля равняется 120 кВ/м.

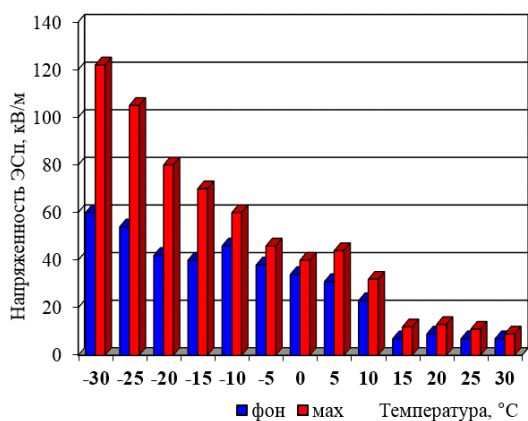


Рис. 2

На рис. 3 (изменение напряженности ЭСП образца № 3 в широком диапазоне температур) представлены результаты лабораторных испытаний нетканого материала № 3 – "Cambrell". По результатам исследования подкладочного нетканого материала видно, что электризация при положительной температуре составляет от 50 до

100 кВ/м. С понижением температур электризация достигает 300 кВ/м.

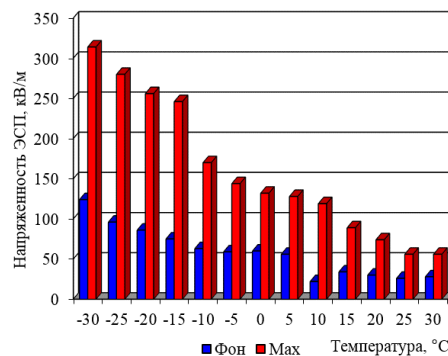


Рис. 3

На рис. 4 (изменение напряженности ЭСП образца № 4 в широком диапазоне температур) представлены результаты лабораторных измерений материала № 4 – нитроискожа-Т. Испытания материала для задников и подносков показали, что электризация практически отсутствует в положительном интервале температур, но уже при 5°C возрастает до 5 кВ/м. Далее идет постоянное увеличение напряженности электростатического поля и при -30°C составляет 100 кВ/м.

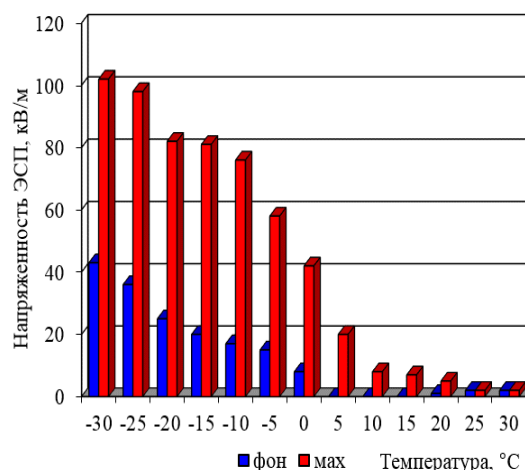


Рис. 4

На рис. 5 (изменение напряженности ЭСП образца № 5 в широком диапазоне температур) представлены результаты лабораторных измерений материала № 5 – бязь термопластическая. При испытании межподкладки с клеевой пропиткой получились следующие результаты: в положи-

тельном интервале температур электризация составляет около 40 кВ/м, увеличение электризации происходит при -10°C .

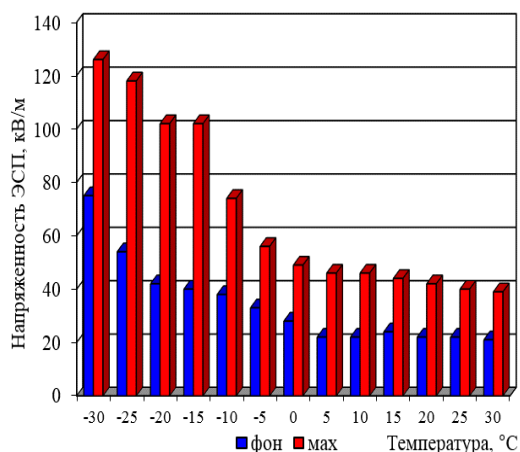


Рис. 5

На рис. 6 (зависимость постоянной времени релаксации электростатического заряда от температуры) представлено изменение постоянной времени релаксации электростатического заряда испытуемых материалов в широком диапазоне температур. Во всех случаях прослеживается одинаковая динамика: с понижением температуры стекание электростатических зарядов замедляется. Самые высокие результаты – более 550 с – у образца № 3 (материала "Cambrell").

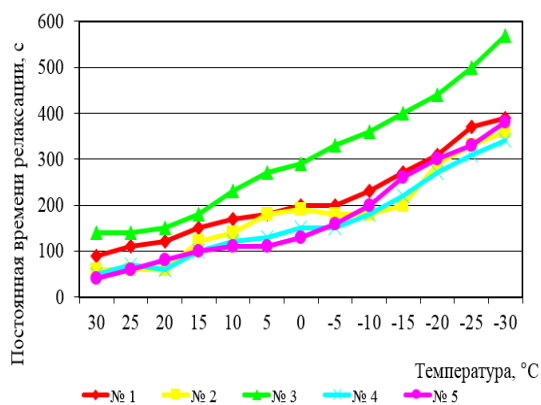


Рис. 6

ВЫВОДЫ

В заключении можно сказать, что проведены измерения напряженности электростатического поля и постоянной времени релаксации электростатических зарядов

для наружных, внутренних и промежуточных материалов верха обуви в диапазоне температур от -30°C до $+30^{\circ}\text{C}$.

По полученным результатам видно, что у всех материалов с понижением температуры возрастает, в разной степени, время релаксации и сила заряда.

Выявлено, что в отрицательном диапазоне температур сила заряда у всех испытанных материалов увеличивается более чем на 40%, по сравнению с положительным диапазоном температур.

Постоянная времени релаксации электростатического заряда с понижением температуры испытаний на 5°C увеличивается, в среднем, на 50 секунд.

Установлено, что ни один материал не подходит под требования стандарта ГОСТ ИЕС 61340-5-1–2019, в котором констатируется, что у материалов, применяемых в антистатической обуви, постоянная времени релаксации заряда, должна составлять не более 2 секунд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 30 марта 2021 г. № 484, в котором утверждена государственная программа "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации".
2. Инновационные факторы в освоении арктического шельфа и проблемы импортозамещения / Под науч. ред. В.А. Цукермана. – Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2019.
3. Павлов Л.К., Форафонов Э.С., Салихов З.С., Шологин О.Н., Рябов Ю.Г., Котляров А.А. Концепция нового подхода к проблеме контроля и обеспечения потенциальной безопасности на взрывопожарных объектах газовой отрасли // Мат. Отраслевой науч.- практ. конф.: Актуальные проблемы и новые технологии освоения месторождений углеводородов Ямала в XXI веке. – М., 2004. С. 320...329.
4. Shuaihang PAN, Zhinan Zhang. Fundamental theories and basic principles of triboelectric effect: A Review // Friction. – 07(01), 2019. P.2...17.
5. Ахметова Г.Ж., Бердикулов М.А., Полежаева И.С., Агабекова Г.Н., Есиркепова А.М. Мировой рынок спецодежды и перспективы его развития в условиях пандемии // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 3. С. 30...35
6. Chowdhury F., Ray M., Passalacqua A., Mehrani P., Sowinski A. Evaluating the electrostatic charge transfer model for particle-particle interactions // Journal of Electrostatics. – V. 112, July 2021, 103603.
7. Белицкая О.А., Леденева И.Н. Основы моделирования трибоэлектрических свойств материалов для обуви. – М.: МГУДТ, 2014.

8. 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. – V.1079, Chapter 4, 2021.

9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Riesgos debido a la electricidad estática, Madrid, 2016. NIPO: 272-15-036-2(In Esp).

10. Белицкая О.А. Оценка электростатических свойств стелечных материалов // Дизайн и технологии. – 2017, № 59 (101). С. 36...42.

REFERENCES

1. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 30 marta 2021 g. № 484, v kotorom utverzhdena gosudarstvennaya programma "Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii".

2. Innovatsionnye faktory v osvoenii arkticheskogo shel'fa i problemy importozameshcheniya / Pod nauch. red. V.A. Tsukermana. – Apatity: Izdatel'stvo FITs KNTs RAN, 2019.

3. Pavlov L.K., Forafonov E.S., Salikhov Z.S., Shologin O.N., Ryabov Yu.G., Kotlyarov A.A. Kontseptsiya novogo podkhoda k probleme kontrolya i obespecheniya potentsial'noy bezopasnosti na vzryvopozharnykh ob"ektakh gazovoy otrasli // Mat. Otrasleyevoy nauch.- prakt. konf.: Aktual'nye problemy i novye tekhnologii osvoeniya mestorozhdeniy ugle-vodородov Yamala v XXI veke. – M., 2004. S. 320...329.

4. Shuaihang PAN, Zhinan Zhang. Fundamental theories and basic principles of triboelectric effect: A Review // Friction. – 07(01), 2019. P.2...17.

5. Akhmetova G.Zh., Berdikulov M.A., Polezhaeva I.S., Agabekova G.N., Esirkepova A.M. Mirovoy rynek spetsodezhdy i perspektivy ego razvitiya v usloviyakh pandemii // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2021, № 3. S. 30...35

6. Chowdhury F., Ray M., Passalacqua A., Mehrani P., Sowinski A. Evaluating the electrostatic charge transfer model for particle-particle interactions // Journal of Electrostatics. – V. 112, July 2021, 103603.

7. Belitskaya O.A., Ledeneva I.N. Osnovy modelirovaniya triboelektricheskikh svoystv materialov dlya obuvi. – M.: MGUDT, 2014.

8. 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. – V. 1079, Chapter 4, 2021.

9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Riesgos debido a la electricidad estática, Madrid, 2016. NIPO: 272-15-036-2(In Esp).

10. Belitskaya O.A. Otsenka elektrostatoicheskikh svoystv stelechnykh materialov // Dizayn i tekhnologii. – 2017, № 59 (101). S. 36...42.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 29.09.21.