

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2023, Том 8, № 4 / 2023, Vol. 8, Iss. 4 <https://kostumologiya.ru/issue-4-2023.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL423.pdf>

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Белицкая, О. А. Совершенствование антистатической обуви с применением аддитивных технологий /
О. А. Белицкая // Костюмология. — 2023. — Т. 8. — № 4. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL423.pdf>

For citation:

Belitskaya O.A. Improving antistatic footwear using additive technologies. *Journal of Clothing Science*. 2023; 8(4):
09TLKL423. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/09TLKL423.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 685.34.073.2:537.311.3

Белицкая Ольга Александровна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Заведующий кафедрой

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: belitskaya-oa@rguk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7808-4027>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=673248

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57750175300>

Совершенствование антистатической обуви с применением аддитивных технологий

Аннотация. В статье представлены результаты исследований электрического сопротивления деталей низа специальной обуви, усовершенствованной в аспекте антистатических характеристик с помощью аддитивных технологий. В качестве объекта исследования выбрана модель специальной обуви с трехслойной подошвой литьевого метода крепления. Для того, чтобы придать модели антистатические свойства, нижний слой подошвы, контактирующий с поверхностью напольного покрытия, должен быть выполнен из токопроводящего материала. Для этого подробно рассмотрен марочный ассортимент АБС-пластиков, которые используются для FDM-печати. Проведено сравнение технических характеристик АБС-пластиков крупнейших российских производителей по следующим параметрам: твердость, хрупкость, износостойкость, термостойкость, электропроводность и пр. Выявлено, что по показателю электропроводности, который является решающим для антистатической обуви, подходит токопроводящий пластик U3 ABS Conductive 2M от компании U3Print. Выполнено 3D-сканирование подошвы модели обуви, для проектирования токопроводящего элемента. Полученный результат позволил спроектировать модель дополнительной вставки в подошву. На основе полученной модели на 3D-принтере напечатана вставка из токопроводящего пластика и установлена в подошву. Для измерения электрического сопротивления применялся прибор VKG A-770. Проведены измерения электрического сопротивления модели обуви без токопроводящей вставки и с вставкой. Выявлено, что значения электрического сопротивления, полученные при измерении модели с токопроводящей вставкой, соответствуют значениям сопротивления, которыми должна обладать антистатическая обувь согласно техническими требованиями ГОСТ Р ЕН ИСО 20345-2011 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты ног. Обувь защитная. Технические требования», а именно антистатической является обувь, электрическое сопротивление которой лежит в пределах от 100 кОм до 1 000 МОм включительно.

Ключевые слова: обувь; антистатическая обувь; пластик; аддитивные технологии; 3D-печать; электростатическое поле; электрическое сопротивление; токопроводящий пластик

Введение

В современных производственных условиях антистатическая обувь занимает определенную нишу в номенклатуре специальной обуви, технология производства и качество которой постоянно совершенствуется. Обувь, обладающая антистатическими свойствами, необходима во многих отраслях промышленности, где накопленное на работнике статическое электричество может привести к порче оборудования, возгораниям, электротравмам или даже к гибели. Например, в цехах по сборке точной электроники, в химических лабораториях, на предприятиях, производящих воспламеняющиеся жидкости, например, топливо, в медицинском секторе [1–6]. Решение вопросов охраны труда различных групп работников Российской Федерации базируется на ряде нормативных актов, позволяющих создать законодательную базу для дальнейшего развития государственного управления охраной труда.

Наука не стоит на месте. Ее развитие делает возможным применение современных технологий в массовом производстве. Так развитие и относительное снижение стоимости аддитивных технологий сделали возможным их применение при производстве обуви [7]. Применение 3D-печати в обуви, аксессуарах — это современный тренд, который развивается год от года. Аддитивные технологии можно применять для быстрого создания макетов, а можно для изготовления полуфункциональных образцов и готовых изделий.

При этом возможно применение различных типов материалов, среди которых ПЛА — полилактид, АБС — акрилонитрил бутадиен стирол, нейлон и др. [8–10]. В настоящее время из существующих на рынке филаментов для 3D-печати антистатическими свойствами могут обладать АБС-пластики.

АБС-пластик является одним из наиболее часто используемых материалов в процессе FDM-печати. Благодаря своим прочным механическим свойствам материал подходит как для изготовления прототипов, так и для технических деталей.

ПЛА-пластик рассматривается как более экологически чистая альтернатива пластмассам на нефтяной основе, поскольку получен из преобразования сахаросодержащих и крахмалистых растительных продуктов. ПЛА является наиболее часто используемым материалом в частном секторе 3D-печати после АБС. Низкая усадка и хорошие свойства при сжатии делают этот пластик интересной альтернативой, несмотря на его жесткость. К другим преимуществам относится простота в обработке, а также высокая четкость деталей.

Материалы

Для выполнения задачи исследования наиболее подходящим являются АБС-пластики, так как они обладают антистатическими свойствами. АБС-пластик — конструкционный термопластичный продукт сополимеризации акрилонитрила, стирола и бутадиена. Благодаря химическому составу отличается свойствами технологичности, ударопрочности, долговечности, морозостойкости, окрашиваемости, теплостойкости. Основные направления потребления акрилонитрилбутадиенстирола — приборостроение, автомобильная промышленность, радиотехника, медицинская техника, бытовая электротехника, товары народного потребления.¹

¹ Шкуро А.Е. Технологии и материалы 3D-печати [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов. — Екатеринбург: Урал. гос. Лесо-техн. ун-т, 2017, 100 с.

В настоящее время в мире существует большое количество производителей АБС-пластика. Наиболее крупные из них²:

- Chi Mei Corporation, Formosa Plastics Group, Dow Inc., Grand Pacific на Тайване;
- LG Chem, BASF, Lanxess, Samsung Cheil Industries в Республике Корея;
- Techno Polymer в Японии;
- Dow Inc., Polimeri Europe, Ineos в Европе;
- ПАО «Нижнекамскнефтехим», ОАО «Пластик» в России.

Указанным производителям из Тайваня, Кореи и Японии принадлежит около 74 % мирового производства АБС-пластика.

АБС-пластики компании АО «Пластик» предназначены для производства широкого спектра изделий. Обладают высокой ударопрочностью, повышенными деформационными свойствами, теплостойкостью. Используются в корпусных деталях автомобильной промышленности, в бытовой и электротехнике, а также в отрасли 3D-печати. Могут перерабатываться методом экструзии, литья под давлением, обладают антистатическими свойствами. Некоторые марки сочетают термо-, свето- и атмосферостойкость с повышенной текучестью. Отдельные виды марок могут использоваться в производстве товаров народного потребления, контактирующих с пищевыми продуктами при условии дополнительной сертификации конечных изделий. Компания выпускает ряд литьевых и экструзионных марок АБС-пластика. Сравнительный анализ показателей технических свойств содержится в таблице 1.

Таблица 1

Марочный ассортимент пластиков компании АО «Пластик»

| Наименование показателя | АБС 2020-31 (32) | АБС 2020- 31М | АБС- 2525- 31(32) | АБС- 1525- 31(32) | АБС- 1515- 31(32) | АБС- 1530- 31(32) | АБС 2802- 31 | АБС- 2806- 31 |
|---|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Плотность, кг/м ³ | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 |
| Усадка при литье под давлением, %, в пределах | 0,3–0,7 | 0,3–0,7 | 0,3–0,7 | 0,3–0,7 | 0,3–0,7 | 0,3–0,7 | 0,3–0,7 | 0,3–0,7 |
| Показатель тягучести расплава, г/10 мин | 9,0 | 14,0 | 20,0 | 22,0 | 19,0 | 25,0 | 2,5 | 6,0 |
| Относительное удлинение при разрыве, % | 30,0 | 25,0 | 25,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 35,0 | 32,0 |
| Ударная вязкость по Изоду, кДж/м | 32,0 | 25,0 | 22,0 | 16,0 | 19,0 | 16,0 | 42,0 | 40,0 |
| Предел текучести при растяжении, кгс/см | 460,0 | 450,0 | 450,0 | 470,0 | 470,0 | 470,0 | 400,0 | 440,0 |
| Температура размягчения по Вика, °С | 100,0 | 97,0 | 96,0 | 101,0 | 102,0 | 98,0 | 100,0 | 100,0 |
| Блеск, % (под углом 60°) | - | - | 90,0 | 90,0 | 92,0 | 92,0 | - | - |
| Термо- и светостабилизированные марки | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Марки, разрешенные к контакту с пищевыми продуктами | - | - | - | + | + | + | - | - |

Источник ³

² Крупные производители АБС-пластика — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/АБС-пластик> (дата обращения 03.11.2023).

³ Применение АБС-пластиков производства АО «Пластик» — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://oaoplastic.ru/wp-content/uploads/2020/01/ABS_rus.pdf (дата обращения 03.11.2023).

Производитель ПАО «Нижнекамскнефтехим» выпускает продукцию в форме гранул, ассортимент производимого АБС-пластика состоит из 5 наименований, которые подразделяются на литьевые и экструзионные марки (табл. 2).⁴

Таблица 2

Марочный ассортимент пластиков компании ПАО «Нижнекамскнефтехим»

| Наименование показателя | АБС-пластик 3432 | АБС-пластик 2332 | АБС-пластик 1534 | АБС-пластик 1035 | АБС-пластик 0445E |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Показатель текучести расплава, г / 10 мин, при 2 200 °С на 10 кг нагрузки, в пределах | 33,0±5,0 | 23,0±3,0 | 15,0±3,0 | 10,0±1,5 | 4,0±1,5 |
| Глянец под углом 20, не менее | 60 | 60 | 50 | 50 | 60 |
| Массовая доля остаточного стирола, %, не более | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Ударная вязкость по Изоду с надрезом (4,0 мм, +230 °С) кДж/м ² , не менее | 11 | 11 | 10 | 10 | 15 |
| Температура размягчения по Вика, °С, не ниже | 95 | 90 | 100 | 98 | 100 |

Составлено автором

Помимо вышеуказанных производителей на рынке представлены ABS-пластики производства компании U3Print.⁵ Это российский бренд, который занимается созданием и производством специальных материалов для FDM-печати преимущественно инженерного направления. Марочный ассортимент АБС-пластиков компании U3Print представлен в таблице 3.

Таблица 3

Марочный ассортимент пластиков компании U3Print

| Наименование показателя | U3 ABS M10 | U3 ABS Dissipative | U3 ABS Flame Stop | U3 ABS Conductive 2M |
|--|---|---|--|--|
| Материал | Высококачественный ABS + модификатор ударной вязкости | Компаунд на основе высококачественного ABS и электродиссипативного полимера | Компаунд на основе ABS с добавлением антипиренов | Компаунд на основе высококачественного ABS и углеродных нанотрубок CNT |
| Модуль упругости при растяжении, МПа | 1 401 | — | 888 | 1 652 |
| Прочность на разрыв, МПа | 21,2 | — | 32,5 | 28,3 |
| Прочность на растяжение, МПа | 24 | — | 32,5 | 28,7 |
| Рекомендуемая скорость печати, мм/с | 20–40 | 20–40 | 25–50 | 20–40 |
| Рекомендуемая температура подогреваемой площадки, °С | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Рекомендуемая температура экструдера, °С | 215–225 | 215–225 | 210–220 | 215–225 |
| Сушка | нет | — | нет | нет |
| Твердость по Шору, D | 64.5 | — | 76 | 73 |

⁴ АБС-пластики производства ПАО «Нижнекамскнефтехим» — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.nknh.ru/products/plastics/abs-plastic/> (дата обращения 03.11.2023).

⁵ Компании U3Print — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://u3print.com/> (дата обращения 03.11.2023).

| Наименование показателя | U3 ABS M10 | U3 ABS Dissipative | U3 ABS Flame Stop | U3 ABS Conductive 2M |
|--------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------|----------------------|
| Температура деформации, °С | 116 | 100 | 100 | 103 |
| Ударная вязкость, кДж/м ² | 17,3 | 17,1 | 10,4 | 11,74 |
| Удлинение при разрыве, % | 5,24 | — | 3,92 | 2,54 |
| Удлинение при растяжении, % | — | — | 3,87 | 2,43 |
| Усадка | средняя | средняя | средняя | достаточно низкая |
| Электрическое сопротивление, Ом | — | не выше 10 ⁹ | — | 10 ⁴ |
| Варианты цветов | 1 | 1 | 1 | 1 |

Составлено автором

В таблице 4 представлено сравнение свойств АБС-пластиков компании U3Print по таким параметрам, как прочность, УФ-стойкость, термостойкость, электропроводность и т. п.

Таблица 4

Сравнительная таблица свойств ABS-пластиков производителя U3Print

| Наименование показателя | U3 ABS M10 | U3 ABS Dissipative | U3 ABS Flame Stop | U3 ABS Conductive 2M |
|-------------------------|------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| Прочность | * | * | * | * |
| Твердость | ** | ** | ** | ** |
| Хрупкость | ** | ** | ** | ** |
| Износостойкость | * | * | * | * |
| Термостойкость | ** | ** | ** | ** |
| Химстойкость | * | * | * | * |
| УФ-стойкость | * | * | * | * |
| Влагостойкость | ** | ** | ** | ** |
| Абразивность | — | — | — | — |
| Электропроводность | — | * | — | *** |

Где *** — отлично, ** — хорошо, * — плохо, «—» — отсутствует. Источник: ⁶

Исходя из обзора существующих на российском рынке АБС-пластиков и требований к материалам для изготовления подошв антистатической обуви, сделан вывод о возможности использовать кондуктивный пластик U3 ABS Conductive 2M от компании U3Print.

Объекты и методы

В качестве объекта исследования выбрана модель специальной обуви с трехслойной подошвой литьевого метода крепления. Верх модели изготовлен из гладкой натуральной кожи. Подкладка из текстиля с технологией, которая отводит испаряемую влагу и способствует улучшенному воздухообмену. Защитный подносок из композитного материала, обладает ударной прочностью 200 Дж для защиты от ударов в носочной части. Подошва трехслойная (ПУ/ТПУ/ТПУ), выполнена по технологии трехкомпонентного литья полиуретанов. Температурный режим подошвы от -35°С до +160°С. Модель оснащена противопрокольной стелькой из синтетического волокна, обладающего высокой механической и термической стойкостью — кевлара, у которого предел прочности на прокол 1 200 Н. Данная модель специальной обуви соответствует стандартам:

⁶ Сравнительная таблица Techno — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://u3print.com/articles/u3lab/techno-tablica> (дата обращения 03.11.2023).

- ГОСТ 12.4.137-2001. Межгосударственный стандарт. Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия.⁷
- ГОСТ 12.4.032-95. Межгосударственный стандарт. Обувь специальная с кожаным верхом для защиты от действия повышенных температур. Технические условия.⁸
- ГОСТ 28507-90. Государственный стандарт союза ССР. Обувь специальная кожаная для защиты от механических воздействий. Общие технические условия.⁹
- ГОСТ 12.4.033-95. Межгосударственный стандарт. Обувь специальная с кожаным верхом для предотвращения скольжения по зажиренным поверхностям. Технические условия.¹⁰
- ГОСТ Р ЕН 20345-2011. Национальный стандарт российской федерации. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты ног. Обувь защитная. Технические требования.¹¹

Исследование антистатических характеристик модели обуви проводилось одним из практических методов — измерением. Для измерения электрического сопротивления применялся прибор VKG A-770, который позволяет проводить измерения сопротивления при тестовом напряжении 100 В — от 1 МОм до 999 ГОм¹². Погрешность измерения сопротивления составляет 2,5 % (диапазон 1 кОм — 10 ГОм), 5 % (диапазон 10 ГОм — 100 ГОм) и 10 % при диапазоне 100 ГОм — 999 ГОм.

Методика измерения поверхностного сопротивления осуществляется по системе «от точки до точки» с использованием тестовых электродов. Подсоединяются тестовые электроды с прибором с помощью соединительных кабелей. Далее электроды помещают на тестируемую поверхность так, чтобы расстояние между ними было не менее 300 ± 10 мм. При условии участия человека в эксперименте один из электродов находится в руке. Проведена серия экспериментов по 5 измерений в каждом, с вычислением средних арифметических значения.

Исследование

Проведено измерение электрического сопротивления модели обуви на металлической пластине, при этом один электрод находился на поверхности пластины, а другой — внутри обуви (рис. 1 а).

⁷ ГОСТ 12.4.137-2001. Межгосударственный стандарт. Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия.

⁸ ГОСТ 12.4.032-95. Межгосударственный стандарт. Обувь специальная с кожаным верхом для защиты от действия повышенных температур. Технические условия.

⁹ ГОСТ 28507-90. Государственный стандарт союза ССР. Обувь специальная кожаная для защиты от механических воздействий. Общие технические условия.

¹⁰ ГОСТ 12.4.033-95. Межгосударственный стандарт. Обувь специальная с кожаным верхом для предотвращения скольжения по зажиренным поверхностям. Технические условия.

¹¹ ГОСТ Р ЕН 20345-2011. Национальный стандарт российской федерации. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты ног. Обувь защитная. Технические требования.

¹² Прибор VKG A-770 — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://vkg.ru/production/esd_testers/pribor_izmereniya_poverkhnostnogo_soprotivleniya_pokrytiy_vkg_a_770/ (дата обращения 03.11.2023).

Результат измерений электрического сопротивления составил 44,80 ГОм. Далее проводилось измерение электрического сопротивления обуви на металлической пластине с участием человека (рис. 1 б). Результат измерений электрического сопротивления составил 3,10 ГОм.

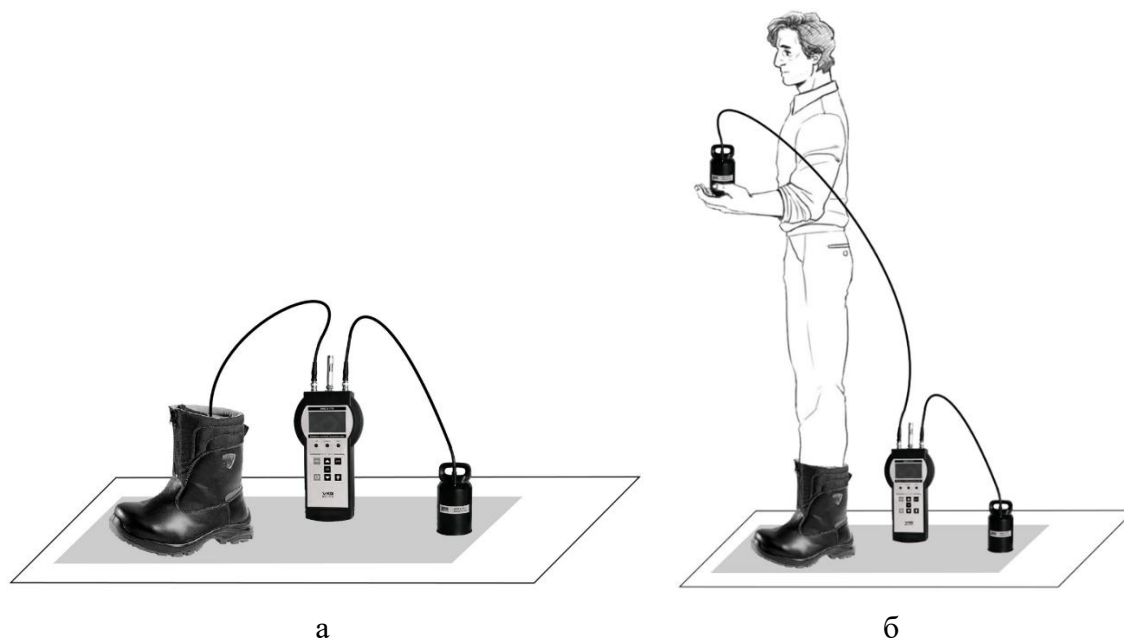


Рисунок 1. Измерение электрического сопротивления: а — обувь;
б — система «человек-обувь-напольное покрытие» (составлено автором)

Так как в качестве объекта выбраны модель специальной обуви, которая не обладает антистатическими свойствами, то модель обуви была доработана в соответствии с патентом на полезную модель № 204433 U1 «Антистатическая обувь с заземляющими свойствами».¹³ Концепция патента — это антистатическая обувь, выполняющая заземляющие функции, которая содержит в нижнем электропроводном слое подошвы металлический контакт в виде проводника, закрепленный между двумя слоями подошвы с помощью скобы, связанный через проводник внутри заднего наружного ремня с платой со сменным резистором с постоянным электрическим сопротивлением, расположенной внутри кармана на кнопке и связанной через проводник с эластичным браслетом с токопроводящими нитями, регулируемым на ноге за счет ленты-велкро.

Таким образом, для того чтобы модель обуви имела антистатические свойства нижний слой подошвы, контактирующий с поверхностью напольного покрытия, должен быть выполнен из токопроводящего материала.

Для проектирования токопроводящего элемента необходимо его моделирование. Для этого выполнено 3D-сканирование подошвы. Полученный результат позволил спроектировать модель дополнительной вставки в подошву в программном обеспечении Компас-3D (рис. 2). На основе полученной модели на 3D-принтере напечатана вставка из токопроводящего пластика U3 ABS Conductive 2M и установлена в подошву.

¹³ Белицкая О.А., Сироткина О.В. Антистатическая обувь с заземляющими свойствами // Патент на полезную модель 204433 U1, 24.05.2021. Заявка № 2020123851 от 17.07.2020.

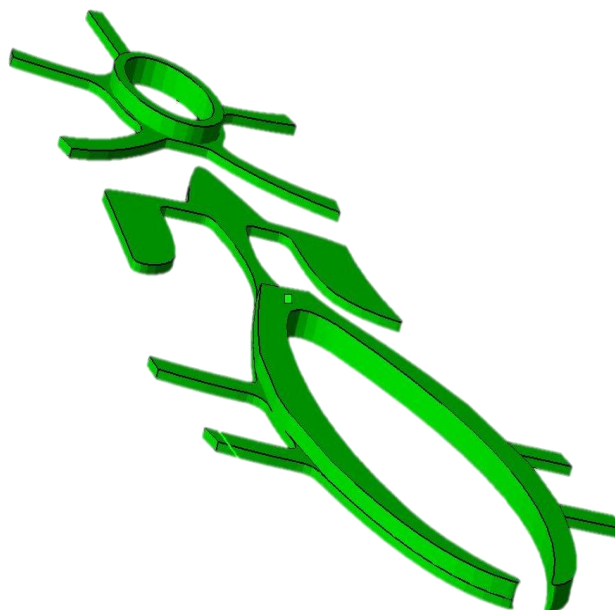


Рисунок 2. 3D-модель вставки токопроводящего слоя (составлено автором)

Токопроводящая связь между моделью обуви и вставкой обеспечивается за счет стельки, имеющей металлическую полосу в пяточной части и соединяющейся с помощью токопроводящей вставки проводом с резистором, с заданным сопротивлением.

После доработки модели обуви проведено измерение электрического сопротивления конструкции, состоящей из обуви, в подошву которой установлена вставка из токопроводящего материала (рис. 3 а). Результат измерений электрического сопротивления составил 9,79 МОм. В завершающем испытании проведено измерение электрического сопротивления конструкции, описанной в предыдущем испытании, однако теперь измерения проводились с участием человека (рис. 3 б). Результат измерений электрического сопротивления составил 10,30 МОм.

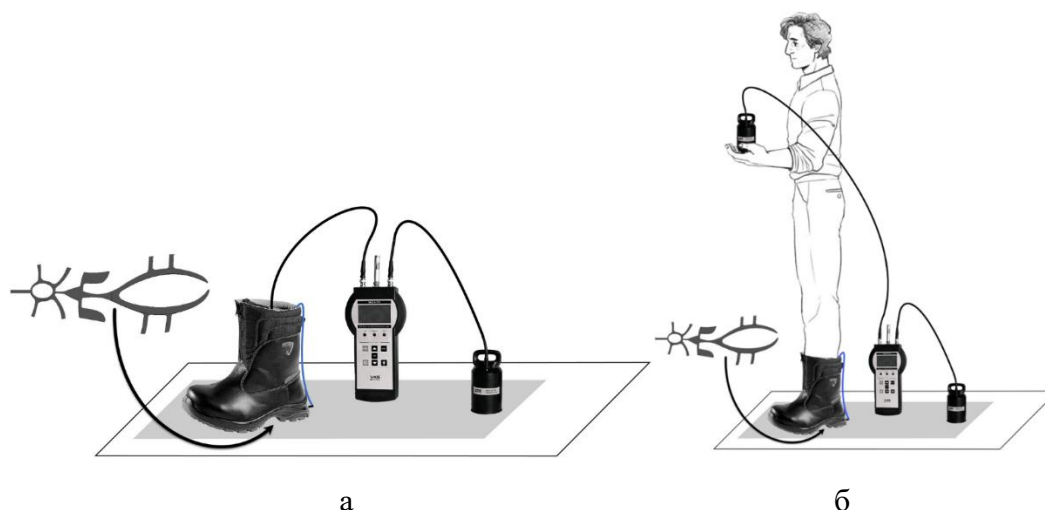


Рисунок 3. Измерение электрического сопротивления: а — обувь со вставкой; б — система «человек-обувь/вставка-напольное покрытие» (составлено автором)

Результаты измерений представлены на рисунке 4. Видно, что электрическое сопротивление обуви без токопроводящей вставки находится в диапазоне 10^9 Ом и выше, а показатели модели обуви с токопроводящей вставкой находятся в диапазоне 10^6 – 10^7 Ом.

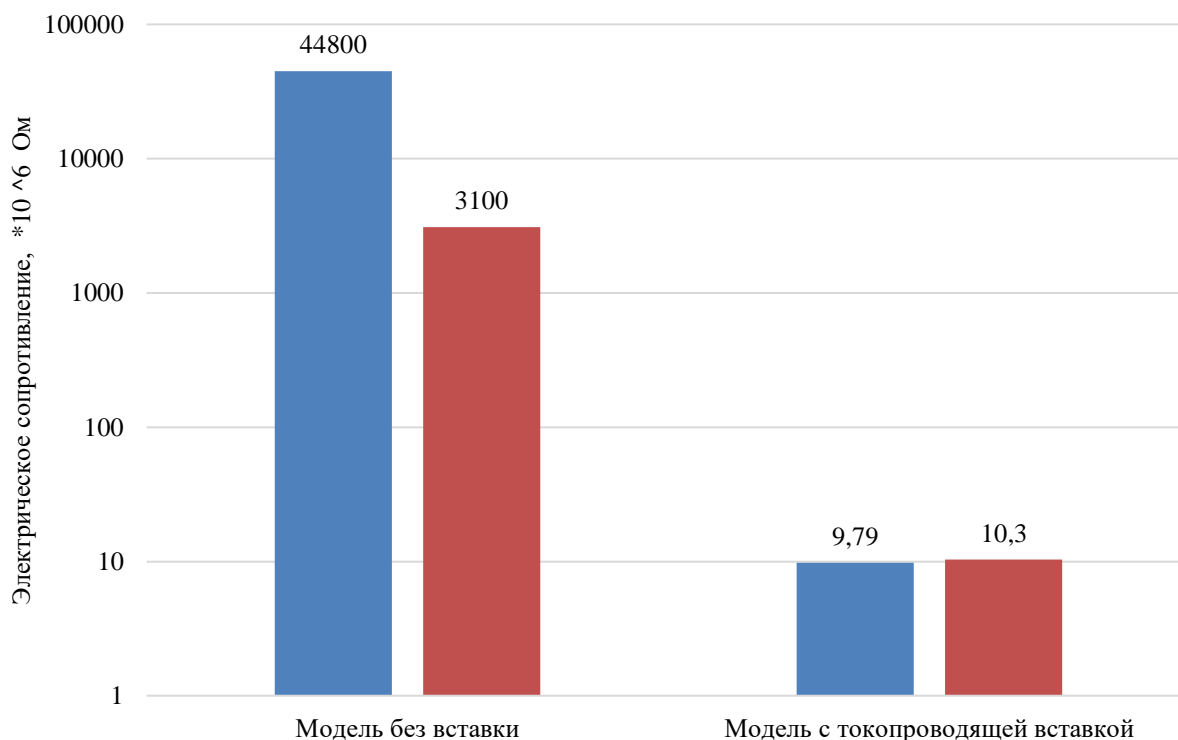


Рисунок 4. Результаты измерений электрического сопротивления модели обуви и модели обуви с токопроводящей вставкой (составлено автором)

На гистограмме видно, что результаты измерений электрического сопротивления модели без вставки находятся в диапазоне ГОм, а модели с токопроводящей с вставкой — в диапазоне МОм.

Выводы

Таким образом, на основе полученных данных можно утверждать, что испытания показали полную состоятельность запатентованной полезной модели № 204433 U1 «Антистатическая обувь с заземляющими свойствами».

Значения электрического сопротивления, полученные при измерении модели с токопроводящей вставкой, соответствуют значениям сопротивления, которыми должна обладать антистатическая обувь согласно техническими требованиями ГОСТ Р ЕН ИСО 20345-2011 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты ног. Обувь защитная. Технические требования»¹⁴, а именно антистатической является обувь, электрическое сопротивление которой лежит в пределах от 100 кОм до 1 000 МОм включительно.

Благодаря развитию аддитивных технологий можно в короткий период смоделировать и внедрить в нижний слой подошвы, контактирующий с поверхностью напольного покрытия, вставку, выполненную из токопроводящего материала, что позволит придать специальной обуви антистатические характеристики.

¹⁴ ГОСТ Р ЕН ИСО 20345-2011 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты ног. Обувь защитная. Технические требования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ушакова Н.С., Брюхов Г.М. Методы индивидуальной защиты на предприятии // Рабочая одежда, 4(31). — 2005.
2. 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.
3. G. Göcsei, B. Németh, I. Berta. Inspection of the efficiency of conductive clothing examination // Special Issue on The International Conference on Electrostatics, Electrostatics 2017, Edited by Klaus Schwenzfeuer, Volume 88, pages 236 (August 2017), pages 121–126.
4. S. Egan. Learning lessons from five electrostatic incidents // Special Issue on The International Conference on Electrostatics, Electrostatics 2017, Edited by Klaus Schwenzfeuer, Volume 88, pages 236 (August 2017), pages 183–189.
5. Yuqin Hu, Diansheng Wang, Jinyu Liu, Jianshen Gao. A case study of electrostatic accidents in the process of oil-gas storage and transportation [Текст] // Journal of Physics: Conference Series 418. — 2013.
6. Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. — М.: Издательский Дом «Технологии», 2005. — 352 с.
7. Минец В.В., Татарчук И.Р., Белицкая О.А., Литвин Е.В. Применение 3D-технологий быстрого прототипирования при изготовлении оснастки обувного производства и апробация формальной модели экспресс-формы для литьевого агрегата // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 329–333. DOI: 10.47367/0021-3497_2022_2_329.
8. Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С., Костылева В.В., Белицкая О.А. Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: группа крупнотоннажных полимеров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 304–311. DOI: 10.47367/0021-3497_2022_2_304.
9. Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С., Костылева В.В., Белицкая О.А. Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: ассортимент пластмасс инновационной функциональности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, № 5(395) 2021 год, С. 262–267 DOI: 10.47367/0021-3497_2021_5_262.
10. Бровина С.Д., Гуйван М.Ю., Масталыгина Е.Е., Ольхов А.А. Полимерные материалы для 3D-печати (моделирование методом послойного наплавления) // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2023. № 10. С. 33–39 DOI: 10.31044/1994-6260-2023-0-10-33-39.

Belitskaya Olga Alexandrovna

Russian State University named after Kosygin A.N. (Technology. Design. Art), Moscow, Russia

E-mail: belitskaya-oa@rguk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7808-4027>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=673248

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57750175300>

Improving antistatic footwear using additive technologies

Abstract. The article presents the results of studies of the electrical resistance of the bottom parts of special shoes, improved in terms of antistatic characteristics using additive technologies. As the object of study, a model of special shoes with a three-layer sole using the injection molding method was chosen. In order to give the model antistatic properties, the bottom layer of the sole in contact with the surface of the floor covering must be made of conductive material. To do this, we examined in detail the branded assortment of ABS plastics that are used for FDM printing. A comparison was made of the technical characteristics of ABS plastics from the largest Russian manufacturers in terms of the following parameters: hardness, fragility, wear resistance, heat resistance, electrical conductivity, etc. It was revealed that in terms of electrical conductivity, which is decisive for antistatic shoes, conductive plastic U3 ABS Conductive 2M from the company U3Print is suitable. A 3D scan of the sole of the shoe model was performed to design a conductive element. The obtained result made it possible to design a model of an additional insert in the sole. Based on the resulting model, an insert made of conductive plastic was printed on a 3D printer and installed in the sole. To measure electrical resistance, a VKG A-770 device was used. The electrical resistance of a shoe model without a conductive insert and with an insert was measured. It was revealed that the electrical resistance values obtained by measuring the model with a conductive insert correspond to the resistance values that antistatic shoes should have in accordance with the technical requirements of GOST R EH ISO 20345-2011 «System of occupational safety standards. Personal protective equipment for feet. Safety shoes. Technical requirements» namely, antistatic shoes are shoes whose electrical resistance lies in the range from 100 kOhm to 1 000 MOhm inclusive.

Keywords: shoes; antistatic shoes; plastic; additive technologies; 3D printing; electrostatic field; electrical resistance; conductive plastic