

2. Luraghi, A., Peri, F., Moroni, L. Electrospinning for drug delivery applications: A review // *J. Control. Release.* – 2021. – V. 334. – P. 463–484.
3. Kundu, B. Silk fibroin biomaterials for tissue regenerations / B. Kundu, R. Rajkhowa, S. C. Kun-du, X. Wang // *Adv. Drug Deliv. Rev.* – 2013. – Vol. 65. – P. 457–470.
4. Wen, D. L. Recent progress in silk fibroin-based flexible electronics / D. L. Wen, D. H. Sun, P. Huang, W. Huang, M. Su, Y. Wang, M.D. Han, B. Kim, J. Brugger, H. X. Zhang, X. S. Zhang // *Microsyst. Nanoeng.* – 2021. – Vol. 7. – P. 35–60.
5. Liu, L. Progress in modification of silk fibroin fiber / L. Liu, S. Zhang, J. Huang // *Sci. China Technol. Sci.* – 2019. – Vol. 62. – P. 919–930.
6. Рыклин, Д. Б. Получение многослойных нановолокнистых материалов методом электроформования / Д. Б. Рыклин, Н. Н. Ясинская, М. А. Демидова, В. М. Азарченко // *Международный научно-технический симпозиум «Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности» в рамках 3-го Международного Косыгинского форума / РГУ им. Косыгина.* – Москва, 2021. – С. 168 – 172.
7. Попова, И. Н. Экономика производства и применения полимеризационных пластмасс / И. Н. Попова, Е. Д. Файнберг, Ю. Т. Лившиц. – Ленинград: Химия, 1977. – 200 с.
8. Глицерин в медицине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mplast.by/encyklopedia/fiziologicheski-aktivnyie-polimeryi/>. – Дата доступа: 10.06.2022.
9. Zhang, Y., Deng, L., Zhong, H., Pan, J., Li, Y., Zhang, H. Superior water stability and antimicrobial activity of electrospun gluten nanofibrous films incorporated with glycerol monolaurate // *Food Hydrocolloids.* – 2020. – V. 109. – Art. 106116.
10. Рыклин, Д. Б. Оценка влияния добавки глицерина в прядильный раствор на структуру электроформованных материалов / Д. Б. Рыклин, Н. Н. Ясинская, М. А. Демидова, В. М. Азарченко // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX).* – 2020. – № 1. – с. 88–93.

УДК 677.02 : 621.315.4

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТКАНЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ КОМПОНЕНТОВ**

*Рыклин Д.Б., д.т.н., проф., Дубровская О.А., асп., Кветковский Д.И., ст. преп.  
Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Ключевые слова: электромагнитное излучение, экранирующая ткань, Bekinox, Nega-Stat, антистатическая нить, коэффициент отражения, коэффициент передачи.

Реферат. Целью данной работы является исследование коэффициентов отражения и передачи в тканях, содержащих в своем составе углероднополиэфирные нити Nega-Stat, а также их сочетание с пряжей, содержащей стальные волокна Bekinox, для оценки возможности их использования при создании экранов, защищающих от воздействия ЭМИ. В качестве объекта исследований использовались образцы опытных тканей разного состава и двухслойные пакеты, сформированные из опытной ткани, с целью оценки возможности управления экранирующим эффектом и определения перспективных возможностей создания многослойных текстильных экранов. В результате испытаний получены зависимости коэффициентов отражения и передачи тканей и пакетов от частоты ЭМИ.

Экранирование является достаточно распространенным методом защиты людей, электронного и электрического оборудования от излучаемой электромагнитной энергии. Одним из перспективных вариантов замены металлических экранов являются антистатические ткани, в структуру которых введены электропроводящие компоненты. Основными преимуществами использования тканей являются меньший расход металлов, гибкость текстильных полотен, воз-

духопроницаемость и легкость экрана в сравнении с металлическими листами. Ткани с высокой электропроводностью все чаще используются для защиты от электромагнитных помех и электростатической защиты в различных областях, таких как экраны для корпусов оборудования, защитная одежда для персонала, работающего в магнитных полях высокого напряжения или в радиочастотных, микроволновых средах, способной надежно защищать человека от вредного электромагнитного воздействия; одежда с подогревом (например, для армии или спортсменов), экранирующие и заземляющие шторы, гибкие экранированные кофухи, халаты, чулки, ботинки и т. д. Не менее важными областями применения можно назвать экранирование геопатогенных зон и физиотерапевтических кабин, оборудование «чистых» комнат и «безэховых» камер, снятие статического электричества. В настоящее время металлические нити в сетеплотах нашли применение при создании космических антенн [1].

Наибольший интерес для Республики Беларусь представляет использование в составе тканей пряжи с вложением волокон Bekinox компании Bekaert [2] и антистатических волокон Nega-Stat. Волокно Bekinox представляет собой отрезки проволоки из нержавеющей стали. А благодаря уникальной конструкции сердцевины нити Nega-Stat происходит рассеивание статического электричества, что предотвращает взрыв по причине скопления статического электричества [3]. Одежда из такой ткани не требует заземления. Выпуск смешанной пряжи с вложением волокон Bekinox в сочетании с другими волокнами освоен на ОАО «Гронитекс» [4].

Целью данной работы является исследование коэффициентов отражения и передачи в тканях, содержащих в своем составе углероднополиэфирные нити Nega-Stat, а также их сочетание с пряжей, содержащей стальные волокна Bekinox, для оценки возможности их использования при создании экранов, защищающих от воздействия ЭМИ.

В качестве материала для исследований была выбрана экранирующая ткань переплетения саржа 2/2, изготовленная на базе ткани, выработанной из хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 25 текс × 2. Характеристика опытных образцов тканей представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика опытных образцов тканей

Наименование показателя	Образец 1		Образец 2		Образец 3	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток
Вид и состав антистатической нити	комбинированная нить 25,6 текс (Nega-Stat – 5,6 текс, хлопок – 20 текс)				пряжа 20 текс × 2 (полиэфирное волокно – 90 %, Bekinox – 10 %)	комбинированная нить 25,6 текс (Nega-Stat 5,6 текс, хлопок – 20 текс)
Плотность нитей в ткани, нит./1 см	17,4	18	17,4	18	17,4	18
Расстояние между антистатическими нитями, см	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5

Для исследования экранирующих характеристик данной ткани в условиях лаборатории кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18, работающий по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отражающей волн. Излучение и прием электромагнитных волн обеспечивался с помощью антенн П6 23М в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц [5].

Анализируя полученные зависимости, можно отметить, что введение в структуру ткани углероднополиэфирных нитей Nega-Stat P210 не способствует ослаблению ЭМИ, проходящего через нее, во всем исследованном частотном диапазоне. Однако при формировании сетки из пряжи, содержащей 10 % стальных волокон Bekinox, и нитей Nega-Stat в диапазоне частот 0,7–4 ГГц абсолютное значение коэффициента передачи превышает 10 дБ, что свидетельствует о достаточно существенном ослаблении ЭМИ. Наиболее существенное ослабление имеет место в частотном диапазоне от 1 до 2 ГГц, в котором коэффициент передачи по модулю в среднем равен 17,5 дБ.

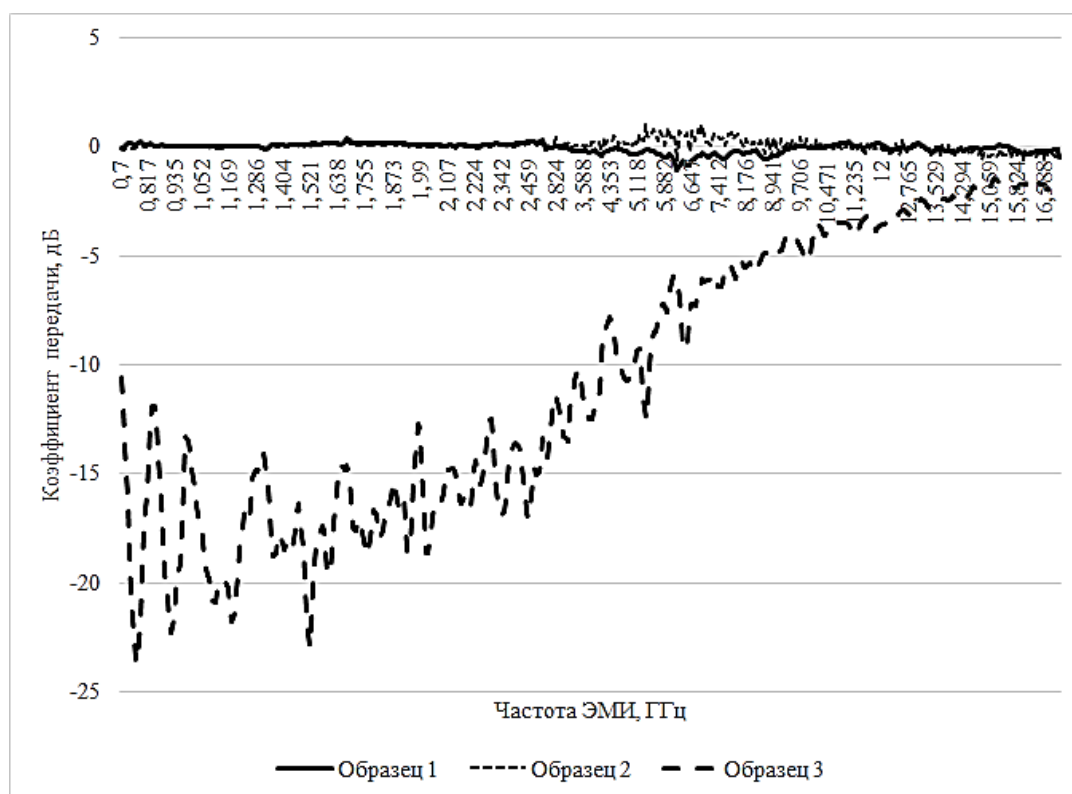


Рисунок 1 – Частотные зависимости коэффициентов передачи экспериментальных образцов тканей

Для повышения эффективности ослабления ЭМИ было выдвинуто предположение о том, что более существенные результаты могут быть достигнуты при использовании пакета, сформированного из нескольких слоев исследованных тканей. Однако при испытании пакета материала, состоящего из двух слоев тканей значительных изменений в эффективности использования тканей, содержащих в качестве электропроводящего компонента только нити Nega-Stat P210, не произошло. Пакеты из таких тканей также не оказывали ослабляющего действия на проходящее через них ЭМИ.

В то же время результаты испытаний, представленные на рисунке 2, позволили сделать вывод о том, что двухслойный пакет, сформированный из тканей, содержащих по основе и утку разные виды антистатических нитей существенно превосходит образец ткани, испытанной в один слой, в диапазоне частот от 0,7 до 5 ГГц. Среднее значение коэффициента передачи в диапазоне от 1 до 4,5 ГГц по модулю составляет 26 дБ. Также можно отметить небольшой интервал частотного диапазона от 7 до 9 ГГц, абсолютное значение коэффициента передачи в котором составило 14 дБ. Для ткани, испытанной в один слой в данном диапазоне данный показатель соответствовал 5,6 дБ.

Частотные зависимости коэффициента отражения, представленные на рисунках 3 и 4, существенно отличаются от зависимостей коэффициента передачи. Анализируя зависимости, полученные для одного слоя тканей, можно сделать следующие выводы:

- в диапазоне от 0,7 до 2,5 ГГц все исследованные образцы не характеризуются существенными значениями коэффициента отражения;
- в диапазоне от 2,5 до 17 ГГц коэффициент отражения тканей, содержащих в своей структуре нити Nega-Stat, характеризуется высокой вариативностью и в среднем составляет по модулю 10 дБ, причем данное значение практически не зависит от массового содержания антистатических нитей в ткани;
- комбинация в структуре ткани различных видов электропроводящих компонентов не только не приводит к повышению абсолютного значения коэффициента отражения, но и сопровождается его снижением практически во всем частотном диапазоне.

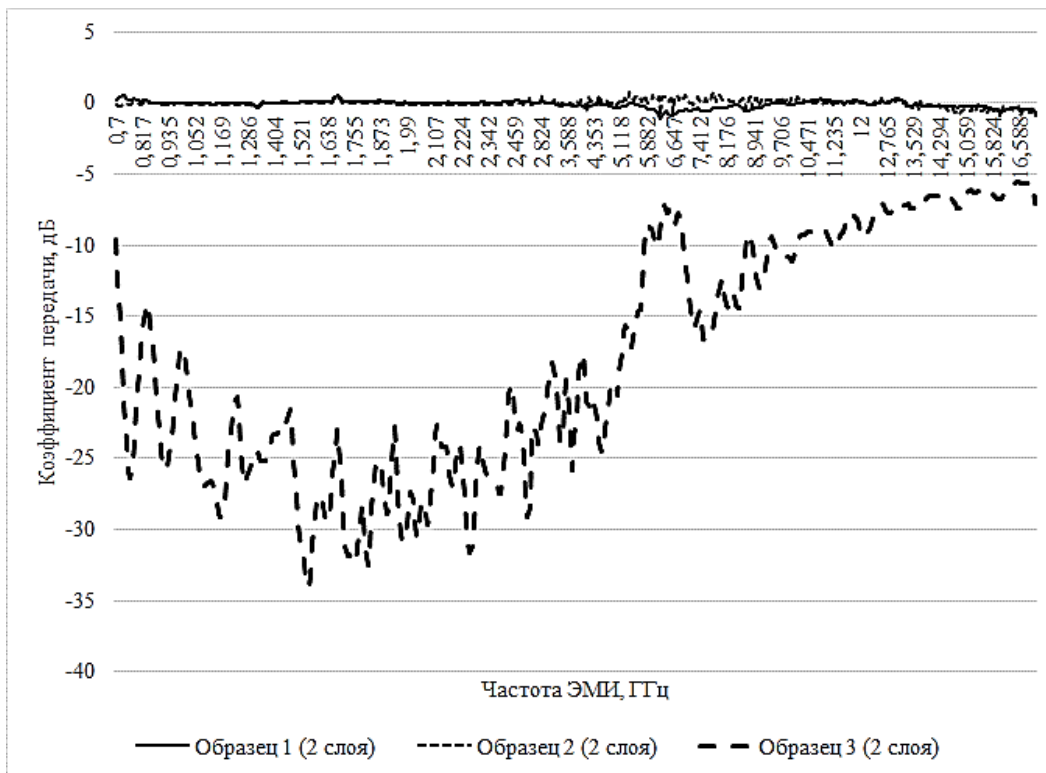


Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициентов передачи двухслойных пакетов из экспериментальных образцов тканей

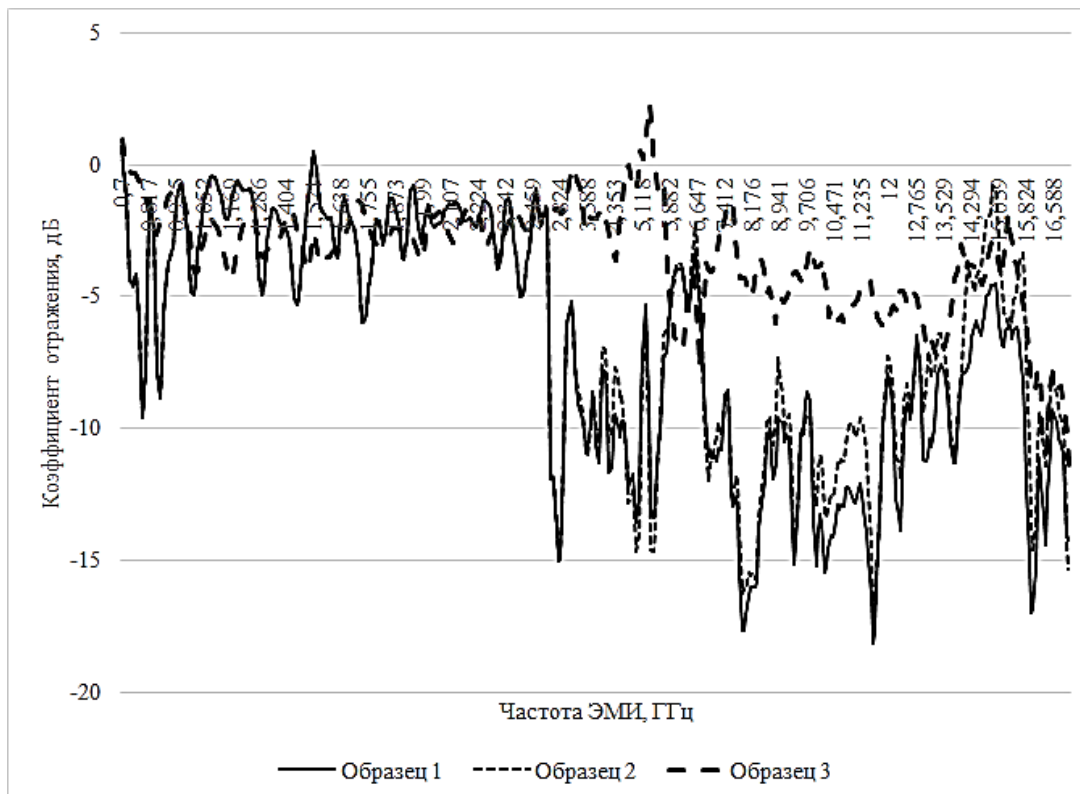


Рисунок 3 – Частотные зависимости коэффициентов отражения экспериментальных образцов тканей

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 4, можно отметить, что сложение в 2 слоя тканей, содержащих в качестве антистатического компонента только нитей Nega-Stat,

практически не оказывает влияние на значение коэффициента отражения. Для тканей, содержащих комбинацию нескольких видов антистатических нитей, коэффициент отражения при сложении их в 2 слоя увеличивается при частоте ЭМИ, превышающей 8 ГГц. Максимальное отражение ЭМИ достигается в диапазоне от 10 до 12 ГГц, в котором абсолютное значение коэффициента отражения в среднем составляет 12,5 дБ.

В литературе отмечается, что наиболее предпочтительными электромагнитными экранами для практического применения представляются такие экраны, которые обеспечивают существенное ослабление ЭМИ при минимальном его отражении [6].

Таким образом, можно сделать вывод, что из рассмотренных вариантов наиболее эффективным для защиты от воздействия ЭМИ в частотном диапазоне от 1–6 ГГц является двухслойный пакет тканей, содержащих комбинацию нескольких видов антистатических нитей. Характеристики экранирующего опытного образца представляются перспективными для создания экранов ЭМИ.

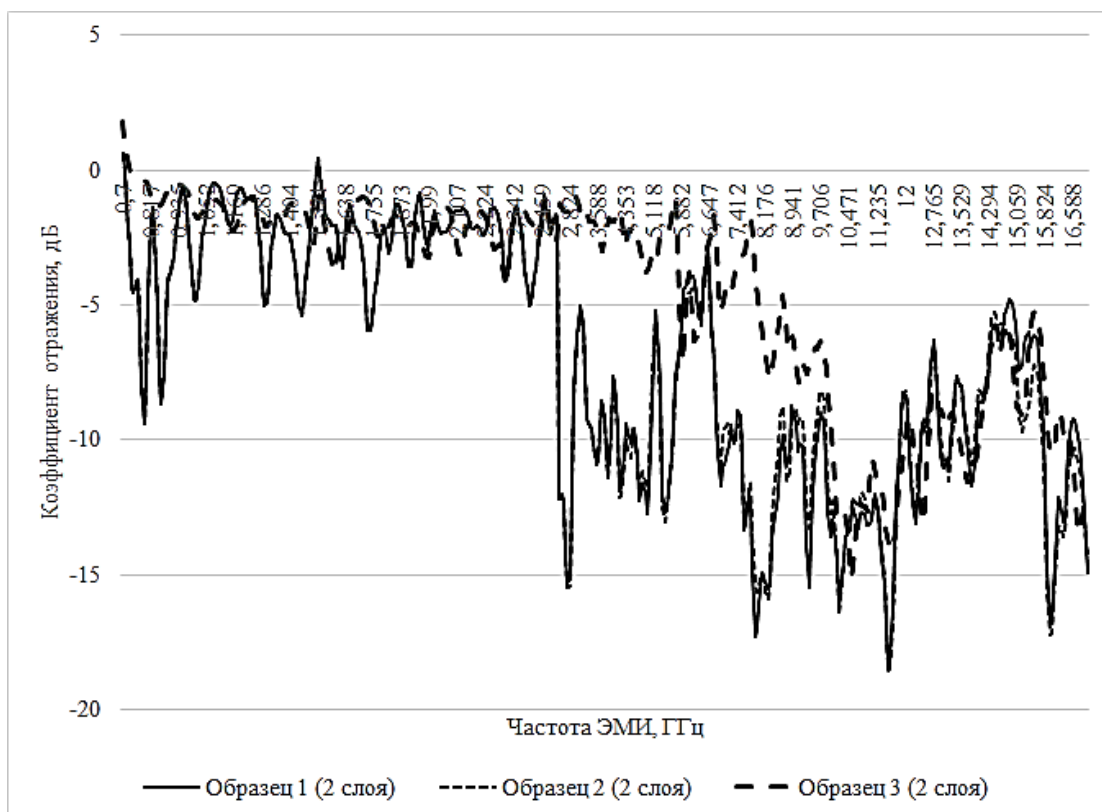


Рисунок 4 – Частотные зависимости коэффициентов отражения двухслойных пакетов из экспериментальных образцов тканей

Список использованных источников:

1. Васютина, О. А. Ткани специального назначения с экранирующим эффектом / О. А. Васютина, Т. П. Бондарева, Е. Г. Замостоцкий // Материалы докладов 43 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ». – Витебск, 2010. – С. 179–180.
2. Anti-static fibers and yarns for textiles – Bekaert.com [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles> – Дата доступа: 12.04.2022.
3. Ткань «Статэл» с антистатической нитью Nega-Stat [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://www.technoavia.ru/polezno/technology/materials/negastat\\_souz](https://www.technoavia.ru/polezno/technology/materials/negastat_souz) – Дата доступа: 12.04.2022.
4. Рыклин, Д. Б. Определение влияния волокон Bekinox на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей / Д. Б. Рыклин, Д. И. Кветковский // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2021. – № 2 (41). – С. 73–80.

5. Гусинский, А. В., Шаров, Г. А., Костринки, А. М. Векторные анализаторы цепей миллиметровых волн. Кн. 1. – Минск: БГУИР, 2008. – 240 с.
6. Абдулхади, Х. Д. А. Электромагнитные экраны на основе алюминия, его оксидов и углеродных волокон. Технологии, конструкции и свойства: монография / Х. Д. А. Абдулхади, Е. А. А. Аль-Машатт, В. А. Богуш, О. В. Бойправ, Л. М. Лыньков, Н. И. Мухуров, А. М. Прудник. – Минск: Бестпринт, 2021. – С. 12.

УДК 677

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВОЙЛОКА

*Фаткуллина Р.Р., к.б.н., доц.*

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация*

**Ключевые слова:** комплексный материал, регрессионное уравнение, жесткость при изгибе, нетканый материал, войлок.

**Реферат.** В работе исследуется комплексный материал, изготовленный на основе шерстяного нетканого материала «войлок», при проектировании обувного изделия – чехла адаптационного назначения. Чехол предназначен для защиты от пониженных температур ноги после травмы (если объем ноги увеличен вследствие надетого ортопедического изделия). Экспериментально получен показатель жесткости материала подошвы изделия. Использован метод определения жесткости при изгибе статическим методом. В ходе анализа полученных характеристик была найдена эмпирическая зависимость, выражающая прямую связь жесткости комплексного материала с его толщиной и массой (поверхностной плотностью) слоя войлока. Регрессионное уравнение позволяет прогнозировать показатель жесткости подошвы при подборе толщины войлока и его плотности.

В числе актуальных задач повышения конкурентоспособности обуви с верхом из войлока стоит совершенствование технологии ее изготовления, в том числе оптимизация технологических параметров сборки изделия; выявление взаимозависимости факторов, определяющих качество обуви. Известно, что для решения задачи повышения формоустойчивости обуви с верхом из войлока существуют следующие пути решения: совершенствование конструкции обуви и технологии ее изготовления, использование новых материалов подкладки и межподкладки [1].

Негативное воздействие окружающей среды в виде влаги и низких температур вызывает расширение влаги в шерстяном нетканом материале «войлок», что ведет к изменению его пористости. Последствия влияния внешних воздействующих факторов на войлок приводят к необходимости защиты низа подошвы слоем резины.

Проектируемое обувное изделие – это чехол адаптационного назначения, который предназначен для защиты от пониженных температур ноги после травмы (объем ноги увеличен вследствие надетого ортопедического изделия). Материал верха обувного изделия может быть трикотажным, а низ изделия представляется в виде комплексного материала на основе войлока. В задачу работы входит выявление зависимости жесткости материала подошвы от размерных характеристик материалов при проектировании обувного изделия на основе войлока.

Комплексный материал подошвы обувного изделия, который подвергается деформации изгиба, состоит из слоев: нетканого материала «войлок», полимерного полиуретанового клея и резины; каждый из слоев имеет следующие характеристики.

Войлок. Материал нетканый – войлок имеет в составе шерсть овечью 100 % (для экспериментальных исследований использован войлок грубошерстный производства ООО «ТатВойлок», г. Казань). Вид войлока зависит от состава сырья. Известно, что основным веществом волокна шерсти является кератин, который относится к белковым соединениям. Волокно имеет три слоя: чешуйчатый, корковый и сердцевинный. Чешуйчатый слой является наружным слоем волокон и играет защитную роль. Он состоит из отдельных чешуек, представляющих собой