

ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПАКЕТОВ ВЕРХА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОБУВИ

В.Е. Горбачик, А.А. Кузнецов, Р.Н. Томашева,
К.Н. Ринейский, В.В. Леонов

УДК 685.34.017.84 : 685.34.03

РЕФЕРАТ

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА, АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, ТЕПЛОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, СИСТЕМЫ МАТЕРИАЛОВ, ОБУВЬ

Объект исследования – пакеты материалов для верха утепленной производственной обуви.

Цель работы – исследование теплозащитных свойств пакетов материалов с различным сочетанием комплектующих для верха производственной обуви.

Разработаны автоматизированный измерительный стенд и методика оценки теплозащитных свойств материалов в лабораторных условиях. Исследованы теплофизические характеристики различных по составу пакетов материалов для верха производственной обуви. Выявлено влияние отдельных комплектующих на суммарное тепловое сопротивление систем материалов, обозначены наиболее оптимальные сочетания комплектующих с точки зрения улучшения теплозащитных свойств обуви.

Полученные в ходе работы результаты позволяют на стадии конструкторско-технологической подготовки производства осуществлять рациональную комплектацию пакетов верха утепленной обуви и прогнозировать её теплозащитные свойства.

ABSTRACT

THERMAL INSULATION PROPERTIES, AUTOMATED MEASURING DEVICE, THERMAL CONDUCTIVITY, THERMAL RESISTANCE, MATERIAL SYSTEMS, SHOES

The article presents a fully developed automated measuring bench station, which allows quick and costs-efficient evaluation of heat-proofing properties of upper shoe materials. Methods for testing samples on the measuring bench are described. Thermo-physical characteristics of different compositions of upper packages of industrial shoes are studied, the influence of individual components on the total thermal resistance of systems of material are revealed, the most optimal combinations of components in terms of heat-proofing properties of shoes are determined. Results obtained in the course of the work allow to carry out a rational configuration of upper packages of insulated shoes and to predict their insulation properties on the stage of design-technological preparation for production.

Теплозащитные свойства занимают важное место в системе показателей качества зимней обуви, эксплуатируемой при пониженной температуре воздуха. Они обеспечивают сохранение температуры стопы на определенном уровне. Оптимальной считается температура внутриобувного пространства в пределах 20 – 25 °С. Так как при низких температурах травматическому действию холода в первую очередь подвергаются именно ноги человека, то от теплозащитных свойств обуви в значительной мере зависит здо-

ровье и работоспособность людей. При носке обуви с недостаточными теплозащитными свойствами температура нижних конечностей может значительно понижаться, что приводит к общему охлаждению организма и возникновению простудных заболеваний. Поэтому создание обуви, соответствующей по своим теплозащитным свойствам условиям её эксплуатации, является необходимым критерием для обеспечения нормальной жизнедеятельности человека.

Наиболее традиционным способом обес-

печения требуемого уровня теплозащитных свойств обуви является правильный подбор материалов для её деталей. Вопросы рациональной комплектации пакетов верха и низа обуви становятся особенно актуальными в настоящее время в связи с широким применением в обувной промышленности новых искусственных материалов различных структур, свойства которых, как правило, изучены недостаточно. Успешное решение этих вопросов непосредственно связано с изучением теплофизических характеристик современных материалов и исследованием влияния свойств отдельных комплектующих на теплозащитные свойства пакетов материалов для обуви.

В настоящее время в мировой практике накоплен значительный опыт создания приборов и методов для оценки теплозащитных свойств материалов и их систем в условиях стационарного и нестационарного теплового режима [1 – 5]. Однако большинство известных методов испытания достаточно сложны в реализации, требуют строгого соблюдения многочисленных начальных условий проведения эксперимента, что не всегда удается регламентировать должным образом, сопряжены со значительной трудоемкостью и материалоемкостью, необходимостью применения специализированного оборудования. Эти методы часто не позволяют учитывать и определять зависимость теплового сопротивления от неоднородности толщины и теплопроводных свойств исследуемых материалов. Как следствие, большинство известных методов не нашли широкого практического применения.

Учитывая это, актуальным представляется разработка новых оперативных методов и средств, позволяющих быстро, качественно и без существенных материальных и трудовых затрат получать количественную оценку теплофизических характеристик различных материалов и их систем. Это обеспечит возможность рационального подбора материалов для пакетов верха обуви и позволит прогнозировать уровень теплозащитных свойств обуви в целом.

В связи с этим, для оценки теплозащитных свойств материалов для верха обуви в Витебском государственном технологическом университете был разработан автоматизированный измерительный стенд, позволяющий быстро и

объективно определять теплопроводность и тепловое сопротивление различных материалов и их систем в лабораторных условиях.

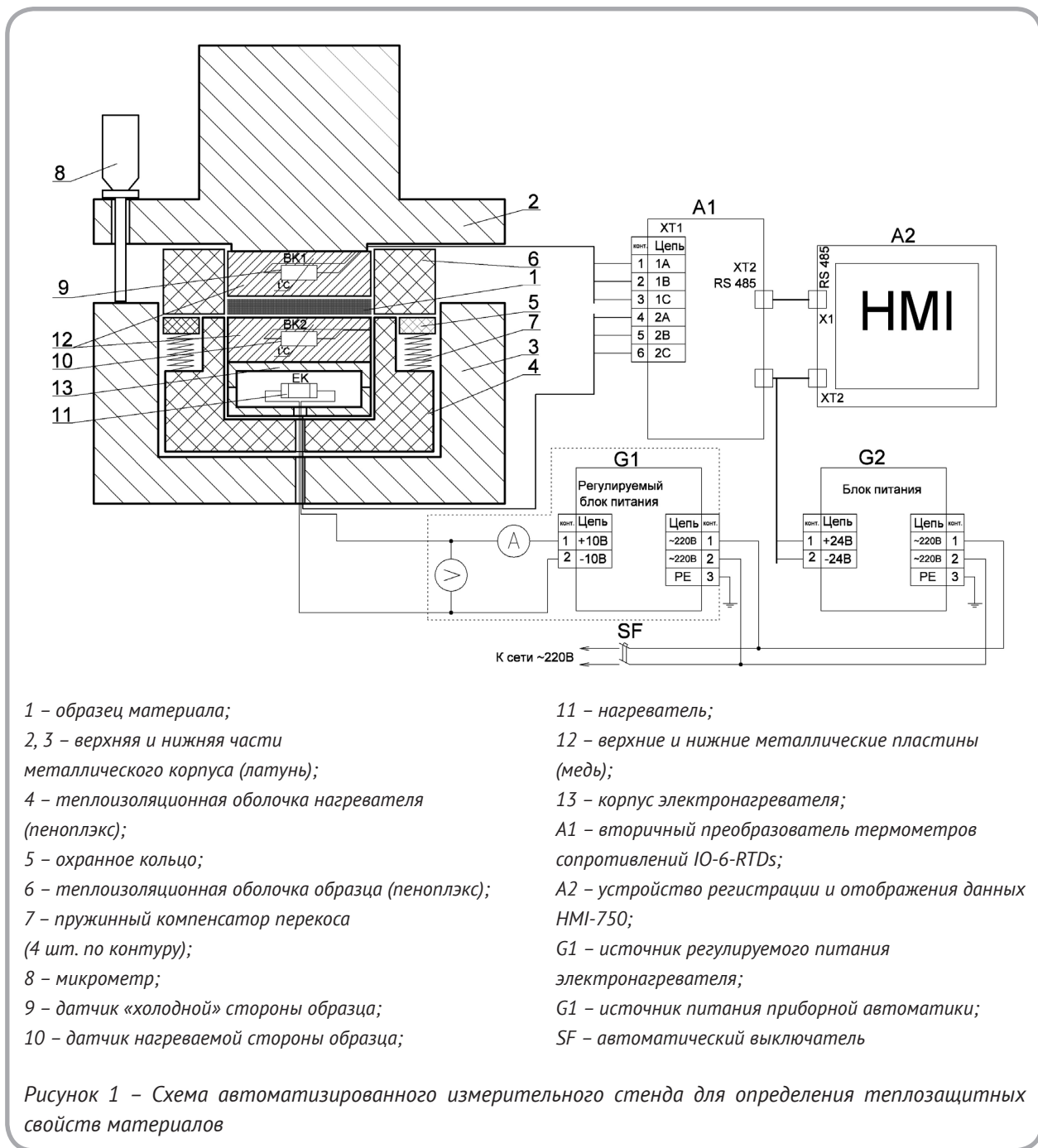
Автоматизированный измерительный стенд состоит из прибора для исследования теплозащитных свойств материалов, работающего по принципу нестационарного теплового режима, автоматизированного устройства для установления и фиксации параметров испытания, регистрации и графического отображения полученных в ходе испытания экспериментальных данных, источников регулируемого питания приборной автоматики и электронагревателя.

Общая схема разработанного измерительного стенда представлена на рисунке 1.

Основным элементом измерительного комплекса является прибор для определения теплозащитных свойств материалов [6], в исходную конструкцию которого с целью совершенствования методики проведения испытаний и получения более объективных экспериментальных данных был внесен ряд существенных изменений. Прибор состоит из разъемного металлического корпуса, плоского металлического нагревателя, теплоизоляционных оболочек для нагревателя и испытываемого образца, верхних и нижних металлических пластин, в которые вмонтированы датчики температуры, микрометра.

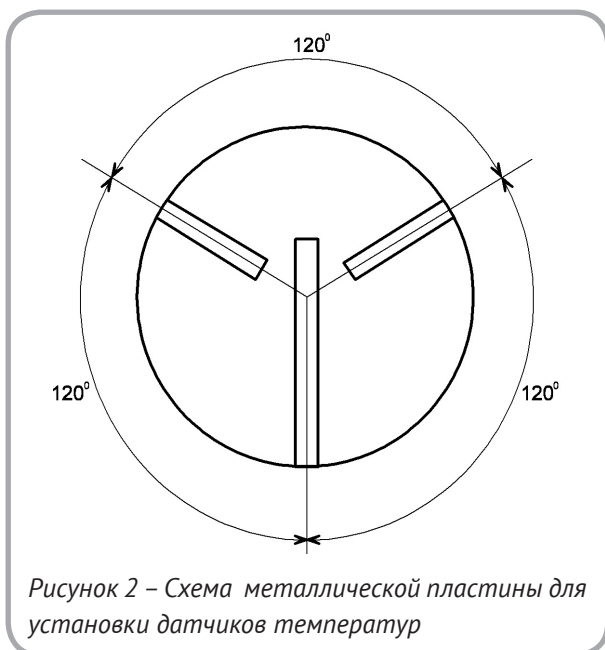
Металлические пластины для установки датчиков были выполнены из меди (коэффициент теплопроводности меди ~ 380 Вт/м*К) по размеру измерительных площадок с пазовыми направляющими (рисунок 2). Такая конструкция пластины позволяет измерять температуру в трех точках поверхности, что позволяет оценить неравномерность теплового поля. Соединение металлических пластин с конструкцией прибора производилось с помощью сварки.

Для контроля температурных параметров применялись датчики типа M222 Pt100 класс А с измерительным диапазоном 50 °С – 300 °С, точностью – $0,15$ °С, временем отсчета – $0,15$ с. С целью снижения тепловых потерь и улучшения теплопередачи в ходе испытания осуществлялась предварительная шлифовка поверхности металлических пластин и после установки измерительных компонентов в пазы пластин образовавшиеся пустоты заполнялись термопастой.



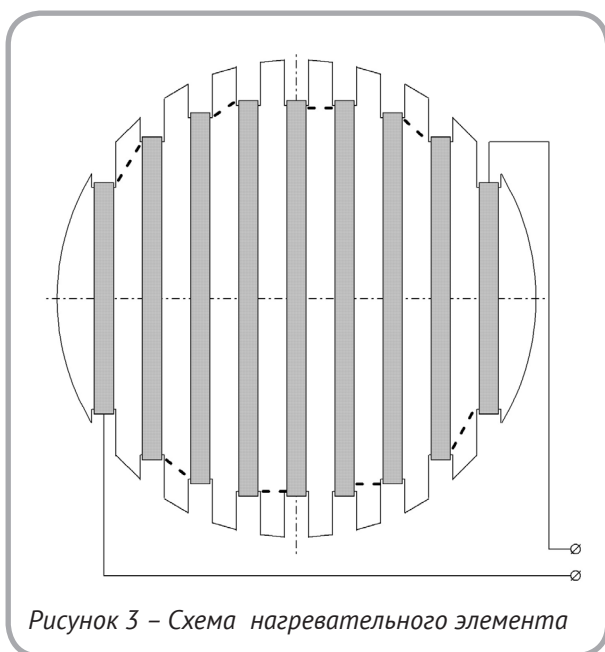
Для обеспечения равномерного теплового поля в разработанном измерительном стенде применялся составной нагревательный элемент (слюда + слюда с намотанной нихромовой проволокой + слюда), схема которого представлена на рисунке 3. Данный нагревательный элемент позволяет обеспечить проведение испытаний в широком диапазоне задаваемых температур (максимально допустимая температура – 1000 °С).

В процессе испытания образец материала круглой формы помещается на нижнюю металлическую пластину и накрывается верхним блоком с определенным усилием прижатия, что обеспечивает сведение до минимума толщины воздушных прослоек между образцом и прилегающими плоскостями прибора. Нижняя металлическая пластина прибора с помощью вмонтированного электрического нагревателя разогревается до получения необходимого перепада температур



относительно верхней металлической пластины, после чего электронагреватель отключают. Далее в процессе испытания происходит свободное охлаждение нагретой нижней металлической пластины, теплота от которой проходит через пробу материала и поглощается верхней холодной металлической пластиной.

В ходе испытания фиксируется время, необходимое для охлаждения нагретой пластины в заданном интервале температур, определяется темп охлаждения нагретой пластины и на



основании полученных данных рассчитывается коэффициент теплопроводности исследуемой пробы материала. Регистрация температурных и временных параметров испытания и графическое отображение протекающих в ходе испытания процессов теплообмена осуществляется в автоматическом режиме на приборной панели стенда. В качестве базового элемента сбора и обработки данных, поступающих от датчиков, был использован панельный контроллер НМІ 750 и модуль подключения термосопротивлений.

Интерфейс вывода графической информации представлен на рисунке 4. Вывод графика ведется в системе время–температура. Частота опроса датчиков – один опрос в секунду.

Разработанный измерительный стенд для определения теплозащитных свойств материалов позволяет:

- быстро, качественно и без существенных материальных и трудовых затрат определять теплопроводность различных материалов и систем в условиях нестационарного теплового режима;
 - в автоматическом режиме отображать кривую охлаждения образца в заданном температурном диапазоне;
 - измерять теплопроводность образцов различной толщины;
 - обеспечить хорошую изоляцию образцов от окружающей среды во время опыта, что исключает влияние случайных колебаний окружающей среды на результаты испытаний;
 - в автоматическом режиме регистрировать значения температур с нагреваемой и холодной поверхности образца в заданные моменты времени, а также фиксировать температуру окружающей среды;
 - формировать графическое отображение зависимости температуры от времени в заданном масштабе на дисплее устройства, что позволяет оперативно оценивать качество проведения эксперимента по наличию нелинейных отклонений снимаемых показаний;
 - осуществлять съём и передачу полученной в ходе испытаний информации на персональный компьютер для дальнейшей её обработки.
- Разработанная установка характеризуется незначительными габаритами, простотой и

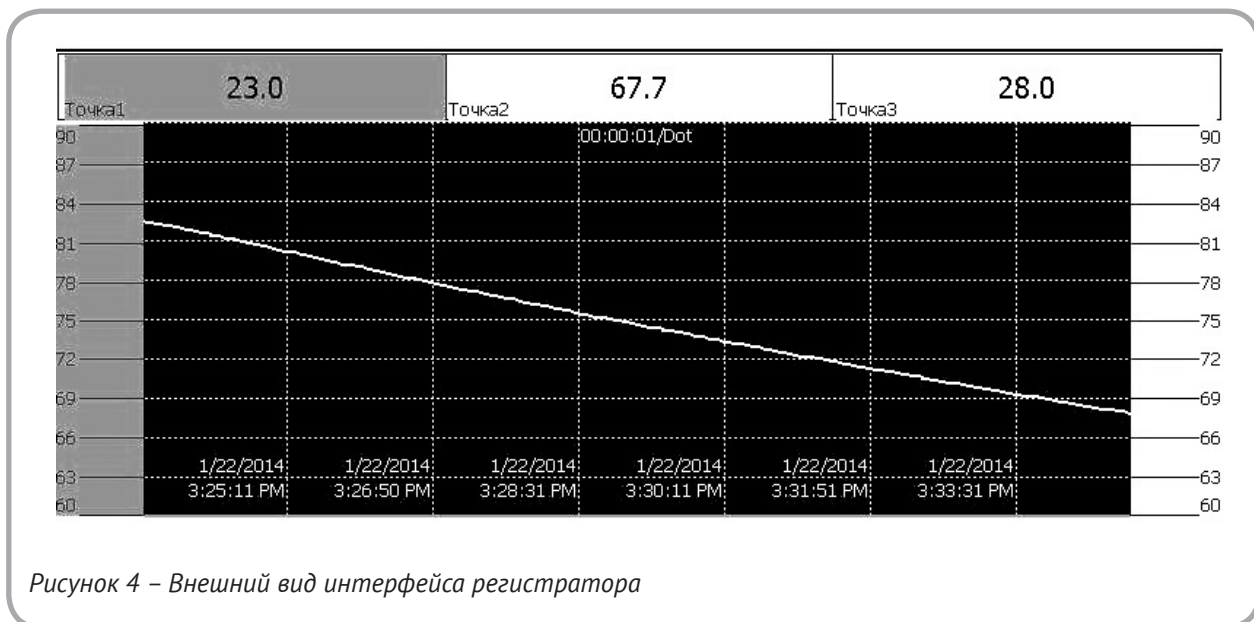


Рисунок 4 – Внешний вид интерфейса регистратора

удобством в пользовании. При необходимости конструкция установки позволяет при внесении соответствующих изменений осуществлять проведение испытаний и в режиме стационарного теплового потока.

Методика испытания образцов на разработанном измерительном стенде заключается в следующем:

1. Осуществляется подключение установки к источнику переменного тока, устанавливаются необходимые параметры испытания на панели автоматизированного устройства регистрации и отображения данных.

2. Нижняя металлическая пластина прибора нагревается с помощью электронагревателя до получения необходимого перепада температур между нижней и верхней пластинами.

3. Образец материала заправляется в рабочую полость установки, верхняя часть корпуса опускается до предельного нижнего положения, толщина испытываемого образца контролируется микрометрами, таким образом, чтобы исключить наличие воздушного слоя между образцом и нижней и верхней пластинами прибора.

4. Электронагреватель отключается. Нагретая пластина прибора охлаждается до заданного значения перепада температур между нижней и верхней пластинами $\Delta T1$. Далее измеряется время, необходимое для охлаждения пластины до перепада температур $\Delta T2$. Показания прибора фиксируются на автоматической панели

устройства. По полученным данным рассчитывается темп охлаждения пластины m, c^{-1} .

5. Верхняя часть установки поднимается, и образец извлекается из прибора. Зафиксированные показания прибора передаются с автоматического устройства с помощью съемного носителя информации на ПК для последующей обработки.

Для оценки теплозащитных свойств материалов и систем используются два показателя: коэффициент теплопроводности и тепловое сопротивление.

Коэффициент теплопроводности $\lambda, Вт/м\cdotград$, определяется по формуле

$$\lambda = \varphi \cdot \delta \cdot \left[\left(A + \frac{1}{3} \cdot c \cdot \rho \cdot \delta \right) \cdot m - K \right], \quad (1)$$

где φ – коэффициент рассеяния в первом приближении, являющийся функцией толщины образца. Для образцов с толщиной менее 5 мм равен 0,96, более 5 мм – 0,95; δ – толщина материала, м; ρ – объемная масса материала, кг/м³; c – удельная теплоемкость материала (пакета материалов); удельная теплоемкость материалов органического происхождения равна $1,675 \cdot 10^3$ Дж/кг*град; A – первая постоянная прибора, характеризующая теплоёмкость сердечника (нижней пластины); K – вторая постоянная прибора, характеризующая теплопередачу теплоизоляционного слоя ($K = 2,9$); m – темп

охлаждения сердечника, с⁻¹.

Первая постоянная прибора A определяется по формуле

$$A = \frac{C_c + \frac{1}{3} \cdot C_{us}}{F_c} \cdot 100, \quad (2)$$

где C_c – полная теплоемкость сердечника (нижней пластины), Дж/К; C_{us} – полная теплоемкость теплозащитной оболочки сердечника, Дж/К; F_c – площадь рабочей (открытой) поверхности сердечника, м².

Темп охлаждения рассчитывается по формуле

$$m = \frac{\beta_{ik}}{\tau_{ik}}, \quad (3)$$

$$\beta_{ik} = \ln \frac{n_i}{n_k}, \quad (4)$$

где β_{ik} – время охлаждения пластины прибора в заданном интервале перепадов температур, с; n_i, n_k – показания прибора, соответствующие перепадам температур соответственно $\Delta T1$ и $\Delta T2$.

Тепловое сопротивление $R_{сум}$, м²·с/Вт, определяется по формуле

$$R_{сум} = \frac{\delta}{\lambda}. \quad (5)$$

Расчет характеристик теплозащитных свойств систем материалов верха обуви производится в автоматическом режиме с помощью пакета прикладных программ Excel.

В соответствии с разработанной методикой были исследованы теплозащитные свойства различных по составу пакетов материалов для верха производственной обуви.

Для определения теплового сопротивления систем материалов на разработанном измерительном стенде использовались образцы круглой формы с диаметром 65 мм. Минимальное число замеров принималось равным трем. Масса исследуемых образцов систем материалов определялась на электронных весах с точностью до 0,005 г. Замер толщины испытываемых образцов производился толщиномером типа TP с точно-

стью до 0,1 мм.

В основу методики испытания образцов на измерительном стенде были положены температурные режимы, используемые для определения теплозащитных свойств текстильных материалов в соответствии с ГОСТ 20489–75 «Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления» [7]. Нижняя металлическая пластина прибора нагревалась до получения перепада температур между пластиной и окружающей средой, равного 60 °С. После заправки в прибор исследуемого образца нагретая пластина прибора охлаждалась до перепада температур между нижней и верхней пластинами $\Delta T1 = 55$ °С. Затем фиксировалось время, необходимое для охлаждения пластины до перепада температур $\Delta T2 = 45$ °С. По полученным показаниям рассчитывался темп охлаждения пластины.

Результаты испытания систем материалов представлены в таблице 1.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что тепловое сопротивление исследованных систем материалов колеблется в значительных пределах и существенно зависит от свойств и сочетания комплектующих в пакетах.

Наиболее низкие теплозащитные свойства отмечаются у систем Юфть + бязь + иглопробивной нетканый материал С3 и Юфть + трикотажное полотно с поролоном. Наиболее высокими теплозащитными свойствами характеризуются многослойные пакеты Юфть + спилкок подк.черн. + нат. мех овчина + войлок и Юфть + нат. мех овчина + войлок.

Исследования показали, что путем комбинирования комплектующих с различным уровнем теплофизических свойств можно обеспечить необходимый уровень теплозащитных свойств пакетов материалов для верха обуви. При этом значительное влияние на теплозащитные свойства систем материалов оказывает толщина исследуемых пакетов.

Использование натурального меха обеспечивает более высокие теплозащитные свойства пакетов по сравнению с искусственными и синтетическими утеплителями. Так, замена трикотажного полотна, дублированного поролоном, на натуральный мех повышает тепловое сопротивление систем материалов в 1,15 раза. В системе

Таблица 1 – Теплозащитные свойства систем материалов для верха производственной обуви

Наименование системы материалов	Толщина системы δ , мм	Масса образцов, г	Объемная масса образцов ρ , кг/м ³	Время охлаждения пластины t_{ik} , с	Темп охлаждения пластины m , 10 ⁻³ · с ⁻¹	Коэффициент теплопроводности λ , 10 ⁻³ · Вт/м · град	Тепловое сопротивление, $R_{сум}$, 10 ⁻³ · м ² · град/Вт
1. Ткань оксфорд 1680 + нетканый многослойный мат-л «Пирог» В400	4,0	4,340	322,69	340	0,387	25,636	157,978
2. Юфть + нетканый многослойный мат-л «Пирог» Р200 + термотрикотаж Джерси	5,3	9,523	541,49	377	0,367	32,723	161,987
3. Юфть + мех натур. овчина	4,9	8,998	557,06	394	0,357	28,695	169,631
4. Юфть + термотрикотаж Джерси + мех натур. овчина	6,1	11,685	575,54	422	0,327	32,110	190,973
5. Юфть + бязь + иглопробивной неткан. мат-л С3	3,2	7,671	722,32	248	0,533	32,185	099,426
6. Юфть + трикотажное полотно с поролоном	3,0	6,215	631,18	263	0,506	27,543	107,775
7. Юфть + мех натур. овчина + войлок	8,9	14,035	476,89	457	0,290	39,421	224,927
8. Юфть+ иглопробивной неткан. мат-л С3 + мех натур. овчина + войлок + бязь	11,1	16,115	438,56	485	0,284	48,818	227,377
9. Юфть + спиллок подк. черн.+ мех натур. овчина + войлок	10,0	16,105	486,69	440	0,300	47,955	207,835
10. Юфть + мех иск. шерстяной ПШ 92-1	4,4	6,728	460,83	350	0,383	28,155	156,286
11. Юфть + бязь + мех иск. шерстяной ПШ 92-1	5,2	8,250	478,12	365	0,377	32,662	159,255

Юфть + «пирог» Р200 + термотрикотаж «Джерси» использование натурального меха взамен утеплителя «пирог» Р200 позволяет увеличить теплозащитные свойства пакета материалов в 1,18 раза. Замена натурального меха в пакетах верха обуви на искусственный шерстяной мех,

наоборот, приводит к некоторому снижению теплозащитных свойств систем материалов (в среднем в 1,1 раза).

Введение дополнительных слоёв в системы материалов, как правило, способствует увеличению их толщины и теплового сопротивления. При

этом степень повышения уровня теплозащитных свойств систем будет определяться прежде всего теплофизическими характеристиками дополнительно вводимых комплектующих. Так, введение бязи в систему Юфть + искусственный шерстяной мех ПШ 92-1 незначительно увеличивает тепловое сопротивление (лишь в 1,02 раза), в то время как дополнительное использование слоя термотрикотажа «Джерси» в системе Юфть + мех натур. овчина обеспечивает рост теплозащитных свойств уже в 1,13 раза. В то же время дополнительное введение слоя из иглопробивного нетканого материала С3 и бязи в систему Юфть + нат. мех овчина + войлок не оказывает значительного влияния на уровень теплозащитных свойств (тепловое сопротивление увеличивается только в 1,01 раза), но при этом приводит к существенному утолщению пакета верха, что является крайне нежелательным с точки зрения потребительских свойств обуви.

Применение в качестве дополнительного утеплителя войлока является более предпочтительным, чем использование термотрикотажа «Джерси», так как позволяет повысить тепловое сопротивление системы в 1,18 раза. Замена иглопробивного нетканого материала С3 на искусственный шерстяной мех также способствует значительному улучшению теплозащитных свойств систем материалов (в 1,6 раза).

Таким образом, результаты исследований показали, что с помощью рационального подбора комплектующих можно обеспечить оптимальный уровень теплозащитных свойств пакетов верха обуви с учетом температурных условий её эксплуатации. Использование натурального меха позволяет обеспечить более высокий уровень

теплозащитных свойств обуви по сравнению с искусственным шерстяным мехом, трикотажным полотном или синтетическим утеплителем «пирог» Р200. Введение в системы в качестве дополнительных утепляющих слоев войлока и термотрикотажа «Джерси» обеспечивает повышение теплозащитных свойств пакетов материалов. Использование в качестве утеплителя иглопробивного нетканого материала С3 не дает значительного положительного эффекта с точки зрения улучшения теплозащитных свойств. Из всех исследуемых систем материалов наиболее оптимальным с позиции обеспечения высоких теплозащитных свойств обуви является использование системы Юфть + нат. мех + войлок.

ВЫВОДЫ

В ходе выполненной работы разработан автоматизированный измерительный стенд, позволяющий быстро, объективно и с минимальными затратами осуществлять оценку теплозащитных свойств материалов и систем материалов, с различной толщиной и сочетанием комплектующих. Получены новые данные о теплофизических характеристиках современных пакетов верха производственной обуви и выявлено влияние отдельных комплектующих на суммарное тепловое сопротивление различных систем материалов. Полученные в ходе работы результаты позволяют уже на стадии конструкторско-технологической подготовки производства осуществлять рациональную комплектацию пакетов верха утепленной обуви, прогнозировать теплозащитные свойства производимых конструкций обуви и, тем самым, обеспечить их высокое качество и конкурентоспособность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дурович, А.П., Лычников, Д.С. (1984), Методы определения теплозащитных свойств обувных материалов и обуви, *Обзоры по основным направлениям развития отрасли. Серия. Обувная промышленность*. 1984, Выпуск 1, Москва, ЦНИИТЭИлегпром, 35 с.

REFERENCES

1. Durovich A.P., Lychnikov A.P. (1984). Methods for determination of heat-shielding properties of shoe materials and shoe [Metody opredeleniya teplozashhitnykh svojstv obuvnykh materialov i obuvi], *Reviews on industry trends. Series. Footwear industry*, 1984, Issue 1, Moscow, TsNIITEIlegprom, 35 p.

2. Иванов, М.Н. (1989), *Проблемы улучшения гигиенических свойств обуви*, Москва, Легпромбытиздат, 136 с.
3. Бузов, Б.А., Алыменкова, Н.Д. (2004), *Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности*, Москва, Академия, 448 с.
4. Ребрик, В.Е., Иванов, М.Н., Шахбазян А.М. (1977), Определение теплофизических характеристик материалов с учетом влияния влаги, *Новые методы исследования строения и свойств и оценки качества текстильных материалов*, Минск, 1977, С. 150-152.
5. Прохоров, В.Т. и др., (2007), *Особенности защиты человека от воздействия низких температур*, Шахты, 499 с.
6. Ковчур С.Г., Махонь, А.Н. (1999), Оценка теплофизических свойств детских пальтовых изделий для дошкольного возраста, Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении, *Сборник статей международной научно-технической конференции*, Витебск, 1999, С. 259 – 265.
7. ГОСТ 20489–75. *Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления* (1986), Москва, Издательство стандартов, 11 с.
2. Ivanov, M.N. (1989), *Problemy uluchsheniya gigienicheskikh svojstv obuvi* [Problems of improving hygienic properties of footwear], Moscow, Legprombytizdat, 136 p.
3. Buzov, B.A., Alymenkova, N.D. (2004), *Materialovedenie v proizvodstve izdelij legkoj promyshlennosti* [Materials in the manufacture of products of light industry], Moscow, Academy 448 p.
4. Rebrik, V.E., Ivanov, M.N., Shahbazyan, A.M. (1977), Determination of thermal properties of materials taking into account the influence of moisture [Opredelenie teplofizicheskikh harakteristik materialov s uchetom vlijanija vlagi], *New methods for studying the structure and properties and assess the quality of textile materials*, Minsk, 1977, pp. 150-152.
5. Prokhorov, V.T. et al. (2007), *Osobennosti zashhity cheloveka ot vozdeystviya nizkih temperatur*, [Features to protect people from exposure to low temperatures: monograph], Shahty, 499 p.
6. Kovchur, S.G., Mahoney, A.N. (1999), Assessment of thermo-physical properties of coat products for children of preschool age [Ocenka teplofizicheskikh svojstv detskih pal'tovyh izdelij dlja doskol'nogo vozrasta], *New energy saving technologies and improving the environmental situation in light industry and mechanical engineering, Collection of articles of the international scientific conference*, Vitebsk, 1999, pp. 259 – 265.
7. GOST 20489–75. *Materials for clothes. Method for determination of total thermal resistance* (1986), Moscow, Publishing Standards, 11 p.

Статья поступила в редакцию 21. 01. 2015 г.