

З.А. МИНАСЯН, Г.Г. АКОПЯН

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА ОБУВИ

Показана предпочтительность использования маломощных нагревательных элементов в подогреваемой обуви специального назначения с автономным питанием с целью минимизации и сбережения потребляемой энергии. Обосновано, что для правильного расчета системы обогрева обуви, помимо выбора нагревательного элемента, необходимо произвести расчеты теплопотерь через верх и низ обуви. С этой целью предлагается универсальная методика расчета системы электрообогрева обуви, которая связывает все величины, характеризующие внутренний электрообогрев и теплопотери обуви.

Ключевые слова: обувь, система электрообогрева, теплопотери, методика расчета.

Введение. Во время ходьбы стопа находится в постоянном теплообмене с окружающей средой. В случае, когда температура окружающей среды ниже внутриобувной температуры, происходит теплоотдача от стопы в окружающую среду. При этом температура стопы начинает падать, и человек испытывает дискомфорт [1]. Слишком низкая температура стопы может привести к обморожению, отмиранию клеток и даже к смерти [2]. Для решения данной проблемы предлагают специальную обувь с электрическим подогревом [3]. Такая обувь обеспечивает комфортную тепловую среду для ступни, однако имеет существенный недостаток: ограниченный ресурс источника питания. Поэтому предлагаются автономные источники энергии, в которых механическая энергия ходьбы или энергия деформации определенных элементов преобразовывается в электрическую энергию. Нами разработан способ электропитания обогреваемой обуви, где механическая энергия ходьбы преобразовывается в электрическую энергию с помощью миниатюрного генератора, вмонтированного в каблук обуви [4].

Постановка задачи и методика исследования. Чтобы правильно рассчитать обогрев обуви, необходимо, помимо самого нагревательного элемента, произвести расчеты по теплопотерям. Так как разные материалы, используемые при изготовлении обуви, имеют различные характеристики, нами приводится универсальная методика расчета системы электрообогрева.

Для этого рассмотрим схематическую конструкцию низа обуви (см рис.).

Поскольку толщины слоев деталей низа обуви малы, то общая толщина δ низа обуви будет также небольшой. Указанное обстоятельство и достаточно низкая теплопроводность материалов низа обуви дают возможность не принимать во внимание растекание тепла в деталях низа, а учитывать только потоки тепла, направленного перпендикулярно деталям низа обуви. Вышесказанное в полной мере относится и к деталям заготовки верха обуви.

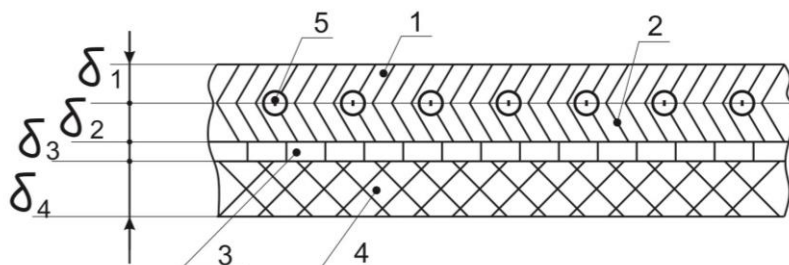


Рис. Конструкция низа обуви при электрообогреве:

1- вкладная стелька; 2- стелька; 3- простилка; 4- подошва; 5- нагревательный элемент;
 $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ - толщины соответствующих слоев

Цель электрического обогрева обуви заключается в возмещении потерь тепла через низ и верх обуви при отрицательных температурах внешней среды. Иначе говоря, для поддержания теплового комфорта стопы человека в обуви в холодный период года необходимо, чтобы количество теплоты, выделяемой электронагревателем, было равно общим тепловым потерям через обувь.

Количество теплоты, выделяемой электрическим нагревателем, определяется по формуле [5]

$$Q_s = P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 R \text{ [Вт]}. \quad (1)$$

Здесь U - напряжение на клеммах электрического нагревателя, В; I - сила тока в цепи, А; R - электрическое сопротивление, Ом, равное

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление материала нагревателя Ом·м; l - длина проволоки, м; S - площадь поперечного сечения проволоки, м².

Так как для проволоки круглого поперечного сечения $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, где d - диаметр проволоки, то формула (1) принимает следующий вид:

$$Q = \frac{U^2 \cdot S}{\rho \cdot l} = \frac{U^2 \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \rho \cdot l} = I^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} = I^2 \cdot \frac{4 \cdot \rho \cdot l}{\pi \cdot d^2} \text{ [Вт]}. \quad (2)$$

Если задано время нагрева τ , то, умножив выражение (2) на τ , получим количество теплоты, выраженное в джоулях.

Общие тепловые потери через верх и низ обуви определяются по формуле

$$dQ_{\text{общ}} = dQ_v + dQ_n = \int_{S_v} dq_v + \int_{S_n} dq_n, \quad (3)$$

где

$$dQ_6 = \int_{S_6} dq_6 = \int_S \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{R_6 + \frac{1}{\alpha_6}} \cdot dS' [Bm], \quad (4)$$

$$dQ_n = \int_{S_n} dq_n = \int_S \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{R_n + \frac{1}{\alpha_n}} \cdot dS'' [Bm], \quad (5)$$

где dS' - элемент поверхности заготовки верха обуви, m^2 ; dS'' - элемент поверхности низа обуви, m^2 ; $t_{6.o.}$ - внутриобувная температура, $^{\circ}C$.

$R_6 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}$ - суммарное тепловое сопротивление заготовки верха обуви, m^2K/Bm ; $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ - толщина отдельных слоев заготовки верха обуви, m ; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ - коэффициент теплопроводности отдельных слоев заготовки верха обуви, Bm/m^2K ; α_6 - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности верха обуви к внешней среде, Bm/m^2K ; t_{cp} - температура окружающей среды, $^{\circ}C$;
 $R_n = \frac{\delta'_1}{\lambda'_1} + \frac{\delta'_2}{\lambda'_2} + \dots + \frac{\delta'_n}{\lambda'_n}$ - суммарное тепловое сопротивление низа обуви, m^2K/Bm ; $\delta'_1, \delta'_2, \dots, \delta'_n$ - толщина отдельных слоев низа обуви, m ; $\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n$ - коэффициент теплопроводности отдельных слоев низа обуви, Bm/m^2K ; α_n - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности подошвы к грунту, Bm/m^2K ; t_{cp} - температура грунта, $^{\circ}C$.

После интегрирования формул (4) и (5) получим

$$Q_6 = \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{R_6 + \frac{1}{\alpha_6}} \cdot S_6 [Bm], \quad (6)$$

$$Q_n = \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{R_n + \frac{1}{\alpha_n}} \cdot S_n [Bm], \quad (7)$$

где S_6 - площадь поверхности верха обуви, m^2 ; S_n - площадь поверхности низа обуви, m^2 .

Сложив формулы (6) и (7), получим общие теплотери обуви:

$$Q_{общ} = Q_6 + Q_n = \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{R_6 + \frac{1}{\alpha_6}} \cdot S_6 + \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{R_n + \frac{1}{\alpha_n}} \cdot S_n [Bm]. \quad (8)$$

Сравнив формулы (2) и (8), получим

$$\frac{U^2 \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \rho \cdot l} = \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{R_6 + \frac{1}{\alpha_6}} \cdot S_6 + \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{R_n + \frac{1}{\alpha_n}} \cdot S_n. \quad (9)$$

После подстановки выражений для R_n и R_6 в формулу (9) окончательно получим

$$\frac{U^2 \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \rho \cdot l} = \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_6}} \cdot S_6 + \frac{t_{6.o.} - t_{cp}}{\frac{\delta'_1}{\lambda'_1} + \frac{\delta'_2}{\lambda'_2} + \dots + \frac{\delta'_n}{\lambda'_n} + \frac{1}{\alpha_n}} \cdot S_n. \quad (10)$$

Заключение. Полученная в работе формула (10) связывает все величины, характеризующие внутренний электрообогрев обуви, и может быть использована для его оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А.** Тепломассообмен.- М.: МЭИ, 2005.- 550 с.
2. **Прохорова В.Т.** Особенности защиты человека от воздействия низких температур: Монография. - Шахты: ГОУ ВПО "ЮРГУЭС", 2007. - 499 с.
3. <http://www.gsconto.com/ru/blogs/post/131/Elektricheskie-botinki-ot-COLUMBIA>
4. ՀՀ արտոնագիր N0 2581A. Կոշիկ - Գեներատոր /**Ա.Ռ. Պապոյան, Հ.Գ. Հակոբյան**. – Հայտի համարը AM 20110106, Հրատարակման թվականը 25.01.2012. – 5 էջ:
5. **Шатеньев Г., Боз М., Бун Д., Вайан Ж., Веркиндер Д.** Учебник по общей электро-технике.- М.: Техносфера, 2009. - 624 с.

Гюмрийский филиал Национального политехнического университета Армении.
Материал поступил в редакцию 02.02.2016.

Զ.Ա. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Հ.Գ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

ԿՈՇԻԿԻ ՆԵՐՔԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԶԵՆՈՒՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱ

Ինքնավար սնուցմամբ հատուկ նշանակության ջեռուցվող կոշիկներում նախընտրելի է ոչ մեծ հզորությամբ տաքացվող տարրի կիրառումը՝ օգտագործվող էներգիայի խնայման և նվազեցման նպատակով: Կոշիկի ջեռուցման համակարգի ճշգրիտ հաշվարկի համար, բացի տաքացնող տարրի ընտրությունից, անհրաժեշտ է կատարել կոշիկի վերնամասից և տակացուից ջերմության կորուստների հաշվարկները: Առաջարկվում է կոշիկի ջեռուցման համակարգի հաշվարկի մեթոդիկա, որն ընդգրկում է կոշիկի ներքին էլեկտրաջեռուցումը և ջերմակորուստները բնութագրող բոլոր մեծությունները:

Առանցքային բառեր. կոշիկ, էլեկտրաջեռուցման համակարգ, ջերմակորուստներ, հաշվարկի մեթոդիկա:

Z.A. MINASYAN, H.G. HAKOBYAN

A METHOD FOR CALCULATING THE INTERNAL ELECTRIC HEATING OF SHOES

In the self-powered heated shoes for special purpose it is preferable to use low-power heating elements in order to minimize the energy consumption and savings. For a correct calculation of the heating system of shoes, besides the choice of the heating element, it is necessary to calculate the heat losses through the top and bottom of the shoe. To this end, we propose a universal method for calculating the electric heating system of shoes, connecting all the values, characterizing the internal electric heating and heat losses of the footwear.

Keywords: footwear, electrical heating system, heat losses, the universal method of calculation.