

УДК 687.174
DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_51

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА
ТОЛЩИНЫ ПАКЕТА СПАЛЬНОГО МЕШКА
ПРИ ЗАДАННЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING
THE THICKNESS OF A SLEEPING BAG PACKAGE
UNDER SPECIFIED OPERATING CONDITIONS**

В.Ф. БОГДАНОВ, Е.Е. ШИРШОВА, С.А. КОЛЕСНИК, И.Ю. БРИНК

V.F. BOGDANOV, E.E. SHIRSHOVA, S.A. KOLESNIK, I.YU. BRINK

(ООО "БАСК", г. Москва,
Институт сферы обслуживания и предпринимательства
(филиал) Донского государственного технического университета, г. Шахты)

(LLC "BASK", Moscow,
Institute of Services and Businesses (branch)
of the Don State Technical University, Shakhty)

E-mail: kolesnik_sa@mail.ru

В статье предложена методика определения тепловой защиты спальных мешков, основанная на анализе параметров физиологического состояния человека и позволяющая рассчитывать необходимую толщину пакета для комфортного сна в заданных условиях эксплуатации.

The article proposes a method for determining thermal protection of sleeping bags, based on the analysis of parameters of the physiological state of a person and allowing to calculate the required thickness of the package for a comfortable sleep in the given operating conditions.

Ключевые слова: методика, тепловая защита, спальный мешок, аутдор-снаряжение, толщина пакета материалов.

Keywords: methods, thermal protection, sleeping bag, outdoor equipment, thickness of the package of materials.

Исследования тепловой защиты спальных мешков [1], [2] с использованием термоманекенов [3], [4] предполагают тестирование уже готовых изделий и не предназначены для прогнозирования теплозащит-

ных свойств в процессе их проектирования с учетом заданных условий эксплуатации [5]. Пример инженерного расчета толщины пакета спального мешка на основании данных об удельной плотности теплового по-

тока с поверхности тела человека на базе одноцилиндровой модели тела [6] представлен нами ранее в [7], однако он не учитывает полного теплового баланса человека, а касается учета средневзвешенной кривизны его тела. Согласно [8] методика проектирования тепловой защиты спального мешка должна опираться на следующие исходные положения/

- Низкий уровень теплопродукции человека во время сна, равный величине основного обмена q_o , Вт/м²:

$$q_o = q_m, \quad (1)$$

где q_m – общие энергозатраты организма, Вт/м².

- Инстинктивное изменение теплоотдачи с поверхности тела во время сна посредством уменьшения площади поверхности тела, отдающего тепло во внешнюю среду, путем изменения позы [8].

- При расчете теплового баланса бодрствующего человека по стандартной мето-

дике расчета [9] постоянной величиной считается площадь поверхности тела человека, а варьируемый параметр – теплопродукция. При расчете тепловой защиты спального мешка варьируемым параметром должна выступать эффективная площадь теплоотдачи человека, которая может изменяться во сне, а постоянной – величина его основного теплового обмена во время сна [8]. Таким образом, отличие условий эксплуатации спального мешка от других средств индивидуальной защиты предполагает корректировку известной методики [9].

1. Во время комфортного сна эффективная мощность механической работы W , Вт/м², и величина изменения теплосодержания в организме $\Delta q_{т.с}$, Вт/м², в уравнении теплового баланса человека равны нулю, и выполняется условие (1). Величина средней плотности теплового потока с поверхности тела человека $q_{п}$, Вт/м², вычисляется в соответствии с уравнением теплового баланса:

$$q_{п} = q_m - W - q_{к.дых} - q_{исп.дых} - q_{исп.к} - \Delta q_{т.с}, \quad (2)$$

где $q_{к.дых}$ – теплопотери конвекцией при дыхании, Вт/м²; $q_{исп.дых}$ – теплопотери испарением влаги при дыхании, Вт/м²; $q_{исп.к}$ – потери тепла испарением влаги с поверхности кожи, Вт/м².

Для расчета тепловой защиты спального мешка уравнение теплового баланса человека должно содержать абсолютные величины параметров, поскольку площадь испарения и площадь теплоотдачи с поверхнос-

ти тела человека меньше общей площади поверхности тела человека. Площадь теплоотдачи человека, лежащего в спальном мешке с прижатыми к туловищу руками и прижатыми друг к другу ногами, составляет 0,71S [10]. Для обозначения этой позы нами введен термин – "поза сна" [8]. Тогда уравнение теплового баланса следует записывать в виде:

$$q_o S = q_{к.дых} S + q_{исп.дых} S + q_{исп.к} S_{п} + q_{пс} S_{п}, \quad (3)$$

где S – площадь поверхности тела обнаженного человека, по Дюбуа, м²; $S_{п}$ – площадь теплоотдачи с поверхности тела человека в позе сна, м²; $q_{пс}$ – средняя плотность сухого теплового потока с поверхности тела человека в позе сна, Вт/м².

Следует отметить, что пакет одежды бодрствующего человека можно считать симметрично распределенным вокруг достаточно круглого сечения участков тела, в то время как пакет спального мешка посто-

янно сдавлен опорной поверхностью лежащего человека. Для того чтобы принять допущение об осесимметричном расположении пакета спального мешка вокруг тела человека, будем считать, что теплоизолирующий коврик, подкладываемый под спальный мешок, компенсирует возможную асимметрию тепловых потоков. Преобразовав формулу (3), можно записать уравнение теплового баланса человека во время сна, когда его теплоотдача может быть из-

менена только пассивным уменьшением площади оттока тепла с поверхности тела в позе сна:

$$q_{пс} = \frac{q_0 S - q_{к,дых} S - q_{исп,дых} S - q_{исп,к} S_{п}}{S_{п}}. \quad (4)$$

2. Величина теплотерь конвекцией при дыхании $q_{к,дых}$, Вт/м², определяется как:

$$q_{к,дых} = 0,0014 q_m (T_{выд} - T_v), \quad (5)$$

где T_v – температура окружающей среды, °С; $T_{выд}$ – температура выдыхаемого воздуха, °С, определяемая как:

$$T_{выд} = 29 + 0,2 T_v. \quad (6)$$

Величина теплотерь испарением при дыхании $q_{исп,дых}$, Вт/м², вычисляется по формуле:

$$q_{исп,дых} = 0,0173 q_m (P_{выд} - P_v), \quad (7)$$

где P_v – давление водяного пара в атмосфере при соответствующей температуре воздуха T_v , кПа; $P_{выд}$ – давление насыщенного водяного пара при температуре выдыхаемого воздуха ($T_{выд}$), кПа; $q_m = q_0$, в соответствии с (1).

3. Расчет величины потерь тепла испарением с поверхности тела человека $q_{исп,к}$, Вт/м², при использовании для изготовления одежды из паропроницаемых материалов согласно [9], ведется по формуле (8):

$$q_0 = \frac{(8,816 + 0,390 q_m)}{S} - q_{исп,дых}. \quad (8)$$

Эмпирическая формула определения тепла испарением с поверхности тела человека (8) содержит величину общих энергозатрат человека q_m , Вт, которые при физической работе могут изменяться. При расчете параметров спального мешка мы исходим из того, что величина общих энергозатрат человека равна величине основного обмена. В этом случае для определения потерь тепла испарением с поверхности тела человека целесообразно использовать формулу Фангера (9) [10], примененную также

в [11], в которой величина теплотерь испарением с поверхности кожи не зависит от возможного изменения общих энергозатрат организма. Возможным уменьшением потерь тепла испарением с кожи на площади опорной поверхности лежащего человека мы пренебрегаем:

$$q_{исп,к} = 3,06 \cdot 10^{-3} (256 T_k - 3360 - P_a), \quad (9)$$

где P_a – парциальное давление пара в воздухе вблизи тела человека при температуре кожи, Па; T_k – средневзвешенная температура кожи, °С.

Таким образом, определены все величины, входящие в формулу (4), и можно рассчитать величину сухого потока тепла с поверхности тела человека в позе сна $q_{пс}$, Вт/м².

4. Величина среднего термосопротивления пакета спального мешка $R_{кп}$, м²·К/Вт, определяется как:

$$R_{кп} = \frac{T_k - T_v}{q_{пс}}. \quad (10)$$

5. Величина средней толщины плоского пакета спального мешка $\delta_{п}$, м, определяется как:

$$\delta_{п} = R_{кп} \lambda, \quad (11)$$

где λ – эквивалентный коэффициент теплопроводности пакета, Вт/(м·К).

6. Поскольку толщина спальных мешков сопоставима с величиной радиуса кривизны туловища человека, необходимо вводить корректировку при помощи коэффициента формы. Средняя толщина цилиндрического пакета спального мешка $\delta_{ц}$, м, определяется с учетом безразмерного коэффициента формы $K_{ф}$, [7]:

$$\delta_{ц} = \frac{\delta_{п}}{K_{ф}}. \quad (12)$$

7. Средняя толщина пакета, согласно [9], должна перераспределяться по участкам тела с учетом безразмерных коэффициентов эффективности утепления, которые зависят от физиологических функций, а

также площади и диаметра различных участков тела. Однако применение коэффициентов для расчета эффективности утепления отдельных участков тела требует уточнения их величин, поскольку в позе сна в прилегающих друг к другу участках тела происходит взаимная компенсация потоков тепла, а также изменяются эквивалентные площади и диаметры прилегающих участков тела [12]. На данном этапе развития методики расчета теплозащиты спального мешка применим коэффициент эффективности утепления $K_{эф.тул}$ для определения толщины пакета в области туловища $\delta_{тул}$, м, а полученную толщину пакета распространим на весь спальный мешок:

$$\delta_{тул} = \delta_{ц} K_{эф.тул}. \quad (13)$$

Для величин термического сопротивления пакета, составляющих до $0,792 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, коэффициент эффективности утепления

принимается равным 1,31, а при величинах термического сопротивления свыше $0,792 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ он принимается равным 1,45 [9]. Формулы (1), (4)...(7), (9)...(13), представляют математическую модель методики расчета толщины пакета спального мешка при заданных условиях эксплуатации, которая реализована на платформе Excel. Для проверки разработанной методики нами проведено тестирование 4-х готовых спальных мешков по [3] в сертифицированной европейской лаборатории. По результатам тестирования определена температура комфорта эксплуатации этих спальных мешков: +2, -7, -13, -24 °С. Для проверки математической модели нами произведен расчет толщины пакетов спальных мешков, обеспечивающей условия комфорта для соответствующих температур: +2, -7, -13, -24°С. Исходные данные для расчета представлены в табл. 1 (исходные значения теплофизических параметров организма человека).

Т а б л и ц а 1

Параметр	$T_k, ^\circ\text{C}$	$q_m=q_o, \text{Вт/м}^2$	$S, \text{м}^2$	$S_{п}, \text{м}^2$	$W, \text{Вт/м}^2$	$\lambda, \text{Вт/(мК)}$	$\Delta q_{тс}, \text{Вт/м}^2$
Значение	34,0	40	1,8	1,278	0	0,040	0

Для определения возможного диапазона отличия параметров спального мешка проведен расчет с применением двух величин коэффициента утепления туловища, $K_{эф.тул}$, равных 1,45 и 1,31 соответственно. Результаты расчета толщин для соответ-

ствующих температур комфорта в сравнении с измеренными толщинами сертифицированных по методике EN 13537 [3] спальных мешков представлены в табл. 2 (расчетные и измеренные параметры спальных мешков, протестированных по EN13537).

Т а б л и ц а 2

Параметр спального мешка	Наименование спального мешка			
	Trekking V2	Mustang 780FP V2	Karakorum	Kashgar
T_b – температура комфорта, °С	+2	-7	-13	-24
δ_o – измеренная толщина пакета в области груди, м	0,060	0,085	0,100	0,130
$\delta_{тул1}$ – расчетная толщина пакета в области груди при $K_{эф.тул}=1,45$, м	0,063	0,086	0,103	0,134
$\delta_{тул2}$ – расчетная толщина пакета в области груди при $K_{эф.тул}=1,31$, м	0,057	0,078	0,093	0,122

С целью определения разброса результатов полученные расчетные данные сравнили с проведенными экспериментами по тестированию идентичных спальных мешков в шести европейских сертифицирован-

ных лабораториях, имеющих право сертифицировать спальные мешки по стандарту [3], которые показали разброс в пределах 10%. На рис. 1 представлены зависимости расчетной толщины пакета при оговорен-

ных ранее значениях коэффициентов эффективности утепления и толщины спальных мешков, протестированных по [3] для температур комфорта, равных +2, -7, -13, -24°C (1 и 2 – расчетные значения при $K_{эф.тул}$ 1,45 и 1,31 соответственно; 3 – экспериментальные значения, полученные по методике [3]).

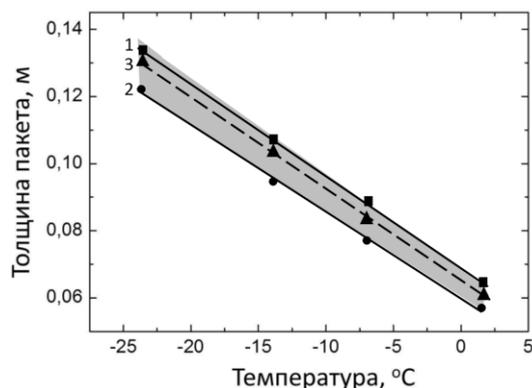


Рис. 1

На графике, представленном на рис.1, серым цветом выделена зона разброса измерений при тестировании тепловой защиты спальных мешков в различных лабораториях, границы которой практически совпадают с зависимостями 1 и 2. Таким образом, расчетные данные, полученные на основе разработанной методики, вполне коррелируют с экспериментальной методикой определения тепловой защиты спальных мешков [3] в диапазоне коэффициентов эффективности утепления туловища $K_{эф.тул} = 1,45...1,31$.

ВЫВОДЫ

Разработанная методика уже на этапе проектирования позволяет с определенной точностью прогнозировать толщину пакета спального мешка для заданных условий в отличие от европейского стандарта, предназначенного для тестирования только готовых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuklane K., Dejke V. Testing Sleeping Bags According to EN 13537:2002: Details That Make the Difference // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE). – Vol. 16, № 2, 2010. P.199...216.

and Ergonomics (JOSE). – Vol. 16, № 2, 2010. P.199...216.

2. Holand B. Comfort temperatures for sleeping bags // Proceedings of the Third International Meeting on Thermal Manikin Testing 3IMM at the National Institute for Working Life. – October 12–13, 1999. P.25...28.

3. European Standard EN 13537:2012. Requirements for Sleeping Bags. – Brussels: European Committee For Standardization. – 27 April, 2012.

4. ASTM F1720 – 17. Standard Test Method for Measuring Thermal Insulation of Sleeping Bags Using a Heated Manikin.

5. Бринк И.Ю., Богданов В.Ф., Романенко В.С. Стандартизация спальных мешков. Российские реалии // Стандарты и качество. – 2017, №8 (962). С.38...41.

6. Бартон А., Эдхолм О. Человек в условиях холода. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1957.

7. Богданов В.Ф., Романенко В.И., Бринк И.Ю. Теплофизические основы инженерного расчета толщины пакета спального мешка // Инженерный вестник Дона. – 2018, №1. С. 17.

8. Романенко В., Гончарова М., Колесник С., Бринк И. Основы методики расчета тепловой защиты спального мешка // Стандарты и качество. – 2019, № 1 (979). С. 58...62.

9. Методические рекомендации МР 2.2.8.2127-06 "Гигиенические требования к теплоизоляции комплекта средств индивидуальной защиты (далее СИЗ) от холода в различных климатических регионах и методы ее оценки". – Утв.07.09.2006 Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

10. Fanger P.O. Thermal comfort-analysis and applications in environmental engineering. – Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

11. Делья Р.А., Афанасьева Р.Ф., Чубарова З.С. Гигиена одежды. – М.: Легкая индустрия, 1979.

12. Романенко В.И., Колесник С.А., Бринк И.Ю. Расчет геометрической модели тела человека в спальном мешке // Дизайн и технологии. – 2018, №64(106). С. 41...47.

REFERENCES

1. Kuklane K., Dejke V. Testing Sleeping Bags According to EN 13537:2002: Details That Make the Difference // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE). – Vol. 16, № 2, 2010. P.199...216.

2. Holand B. Comfort temperatures for sleeping bags // Proceedings of the Third International Meeting on Thermal Manikin Testing 3IMM at the National Institute for Working Life. – October 12–13, 1999. P.25...28.

3. European Standard EN 13537:2012. Requirements for Sleeping Bags. – Brussels: European Committee For Standardization. – 27 April, 2012.

4. ASTM F1720 – 17. Standard Test Method for Measuring Thermal Insulation of Sleeping Bags Using a Heated Manikin.

5. Brink I.Yu., Bogdanov V.F., Romanenko V.S. Standartizatsiya spal'nykh meshkov. Rossiyskie realii // Standarty i kachestvo. – 2017, №8 (962). S.38...41.

6. Barton A., Edkholm O. Chelovek v usloviyakh kholoda. – M.: Izd-vo Inostrannoy literatury, 1957.

7. Bogdanov V.F., Romanenko V.I., Brink I.Yu. Teplofizicheskie osnovy inzhenernogo rascheta tolshchiny paketa spal'nogo meshka // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2018, №1. S. 17.

8. Romanenko V., Goncharova M., Kolesnik S., Brink I. Osnovy metodiki rascheta teplovoy zashchity spal'nogo meshka // Standarty i kachestvo. – 2019, № 1 (979). S. 58...62.

9. Metodicheskie rekomendatsii MR 2.2.8.2127-06 "Gigienicheskie trebovaniya k teploizolyatsii kompleksa sredstv individual'noy zashchity (dalee SIZ) ot kholoda

v razlichnykh klimaticheskikh regio-nakh i metody ee otsenki". – Utv.07.09.2006 Federal'noy sluzhboy po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka.

10. Fanger P.O. Thermal comfort-analysis and applications in environmental engineering. – Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

11. Dell' R.A., Afanas'eva R.F., Chubarova Z.S. Gigiena odezhdy. – M.: Legkaya industriya, 1979.

12. Romanenko V.I., Kolesnik S.A., Brink I.Yu. Raschet geometricheskoy modeli tela cheloveka v spal'nom meshke // Dizayn i tekhnologii. – 2018, №64(106). S. 41...47.

Рекомендована кафедрой конструирования технологий и дизайна ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты. Поступила 31.05.21.