

УДК 006.07, 006.05, 645.482

Ограничения при расчете тепловой защиты спального мешка

Романенко Варвара Игоревна, аспирант
 Бринк И.Ю., д.т.н., проф.
 ИСОиП (филиал) ДГТУ (г. Шахты)

Аннотация. Спальный мешок должен обеспечить человеку комфортный сон при заданных температурных условиях. Одновременным требованием является ограничение по массе спального мешка. В статье обсуждаются особенности учета этих взаимно исключающих требований и возможные варианты математического описания ограничения по массе. Тепловую защиту поддерживает толщина изделия, которую обеспечивает утеплитель. Одинаковую толщину пакета может поддерживать легкий высококачественный утеплитель с низкой плотностью или тяжелый низкокачественный утеплитель с высокой плотностью. Соответственно, спальный мешок с высококачественным утеплителем будет легким и стоить дорого, а с низкокачественным будет тяжелым, но более дешевым. При незначительных отличиях коэффициентов теплопроводности разных утеплителей, в качестве ограничения должен выступать объем утепляющего слоя, который обеспечит необходимую тепловую защиту. А масса спального мешка в данном случае выступает как характеристика параметра цена/качество и зависит от стоимости наполнителя.

Ключевые слова: спальный мешок, тепловая защита, геометрическая модель, утеплитель, пух, масса.

Математическое моделирование процессов теплообмена человека в спальном мешке позволяет прогнозировать тепловую защиту проектируемого спального мешка и снизить количество натурных и лабораторных испытаний.

Математическое моделирование тепловой защиты человека в спальном мешке предполагает построение геометрической модели тела человека. Он может быть представлен в виде модели, состоящей в виде одного цилиндра [2] коаксиально помещенного в утепляющий слой [3]. Критерием расчета толщины спального мешка является величина тепловых потерь человека, при которых в течение длительного времени сна тепловой поток с поверхности тела человека будет соответствовать основному теплообмену. Чем ниже тепловые потери, тем лучшая теплоизоляция. Инженерный расчет тепловой защиты спального мешка представлен в [2], на основе одноцилиндровой модели человека. После определения средней толщины пакета, его толщина должна перераспределяться с учетом коэффициентов эффективности утепления отдельных участков тела. Коэффициенты эффективности утепления были впервые введены в работе [4], а в последующем вошли в методические рекомендации по проектированию спецодежды для защиты от холода [5].

В спальном мешке человек располагается в сгруппированном положении. В силу конструктивных особенностей спального мешка у человека всегда ноги сведены вместе и руки располагаются вдоль туловища либо скрещены на груди. То есть объединенные геометрические параметры поверхности участков тела спящего человека, отдающие тепло, отличаются от аналогичных участков тела человека, находящегося в движении. Уточненная модель тела человека может содержать четыре цилиндрических элемента, по размерам соответствующим перечисленным участкам тела. Поэтому коэффициенты эффективности принятые в [4,5] для 7 участков тела должны быть уточнены для применения при расчете спального мешка.

В качестве ограничения может служить равенство средних толщин пакетов на объединенных участках тела или равенство массы теплоизолирующего слоя для различных вариантов спальников.

Математически это означает введение нормировки по средней толщине пакета одежды или ее массе, [6].

Этот вариант нормировки по средневзвешенной толщине вводится как

$$\frac{1}{S} \sum_{i=1}^n S_i K_{эфф.i} = 1; (1)$$

где:

S_i - площадь поверхности i -той части тела, $м^2$;

$K_{эфф.i}$ - коэффициенты эффективности утепления соответствующих частей тела;

S - площадь поверхности тела человека, $м^2$;

n - количество объединенных участков тела человека.

Для этого варианта нормировки модельное представление человека не играет роли.

Второй вариант нормировки по массе вводится как

$$P = \rho \pi \sum_{i=1}^4 (\delta_i^2 + 2r_i \delta_i) l_i; (2)$$

где: ρ - средняя плотность пакета, $кг/м^3$;

δ_i - толщина пакета на i -том участке тела, $м$;

r_i - средневзвешенный радиус i -го участка тела, $м$;

P - масса всей теплоизоляции, $кг$;

l_i - длина i -го участка тела, $м$.

Математическое выражение этого варианта нормировки записано для представления тела человека в виде четырех цилиндрических фигур, рис. 1.

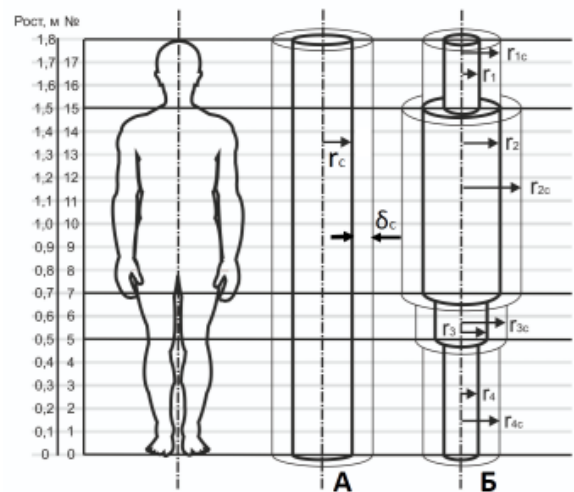


Рис.1. Модельное представление человека в спальном мешке. А – одноцилиндровая модель; Б – четырехцилиндровая модель. Индекс «с» характеризует радиус геометрической модели спальника на соответствующем участке тела. r_c – средний радиус тела человека, $м$, δ_c – средняя толщина пакета одноцилиндровой модели, $м$.

Тепловую изоляцию одежды или спального мешка обеспечивает воздушная прослойка, заключенная в пространстве волокнистого утеплителя, который обладает различными физическими характеристиками. В случае применения пуха, его упругие свойства будут зависеть от способа обработки, вида и возраста водоплавающей птицы. Чем более высококачественный утеплитель применяется, тем меньшее количество его необходимо для поддержания толщины пакета. Это же можно отнести и к различным видам синтетических утеплителей. Одним из ограничений может вставать стоимость изделия. Спальный мешок, поддерживающий определенную теплоизоляцию, может быть дорогим, но легким или дешевым, но тяжелым. Поэтому первичным ограничением является не масса, а объем

утепляющего слоя, который и обеспечивает необходимую тепловую защиту человека.

Поэтому выражение (3) эквивалентное выражению (2), более удобно для принятия в качестве ограничения:

$$V = \pi \sum_{i=1}^4 (\delta_i^2 + 2r_i \delta_i) l_i; \quad (3)$$

где V – объем теплоизолирующего слоя, м^3 .

Преобразование выражения (2) в (3) уменьшает число независимых переменных, что позволяет уменьшить количество вариантов последующих расчетов.

В таблице 1 представлены данные расчета объема утепляющего слоя для различных толщин спального мешка, применительно к одноцилиндровой модели, применявшейся в [4]. В этом случае выражение (3) примет вид:

$$V = \pi(2l\bar{\delta}_c + \bar{\delta}_c^2); \quad (4)$$

Таблица 1. Величины объема утепляющего материала для одноцилиндровой модели спального мешка.

r_c – радиус одноцилиндровой модели, м	$\bar{\delta}_c$ – толщина пакета, м	V – объем пакета, м^3
0,137	0,01	0,0714
	0,02	0,1256
	0,03	0,1884
	0,04	0,2512
	0,05	0,3140
	0,06	0,3768
	0,07	0,4396
	0,08	0,5024
	0,09	0,5652
	0,10	0,6280
	0,11	0,6908
	0,12	0,7536
	0,13	0,8164
	0,14	0,8792

Поскольку коэффициенты теплопроводности утепляющих материалов, используемых в спальнях мешках, незначительно отличаются друг от друга, наиболее характерным показателем является расчет общего объема утеплителя, который эффективно будет поддерживать расчетную толщину спального мешка. Используя инженерный расчет толщины пакета спального мешка по методике [2], по полученной толщине можно по формуле (4) или по таблице 1 определить необходимый объем утепляющего материала, обеспечивающий тепловую защиту, а его масса будет определяться уже качеством утеплителя.

Заключение.

При проектировании спальных мешков, применяемых при экстремальных климатических условиях, математиче-

ский расчет позволяет прогнозировать их тепловую защиту.

Спальный мешок должен обеспечивать человеку необходимый тепловой комфорт при заданной температуре и обладать ограниченной массой.

Поскольку спальные мешки заполняются мягкими упругими наполнителями, имеющими различные физические характеристики – упругостью, теплопроводностью то их количество может отличаться по массе. При использовании высококачественных легких утеплителей спальный мешок будет легким, но дорогим, при использовании утеплителей более низкого качества спальный мешок будет более дешевым, но тяжелым. Таким образом универсальным ограничением, при математическом расчете спальных мешков может являться объем наполнителя, обеспечивающий необходимую тепловую защиту.

Литература:

1. Stolwijk J.A. A mathematical model of physiological temperature regulation in man. NASA CR – 1855. Nat. Aeronaut and Space Admin, Washington, 1971, 77p.
2. Богданов В.Ф., Романенко В.И., Бринк И.Ю. Теплофизические основы инженерного расчёта толщины пакета спального мешка. Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4721
3. В.И. Романенко, И.Ю. Бринк. Расчет внутреннего и внешнего периметра пакета пухового спального мешка. «Евразийское Научное Объединение», № 1 (35), январь, 2018. - с. 52-53.
4. Афанасьева, Р. Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода [Текст] / Р. Ф. Афанасьева. –М.: Легкая индустрия, 1977. –136 с.
5. МР 2.2.8.2127-06 "Гигиенические требования к теплоизоляции комплекта средств индивидуальной защиты от холода в различных климатических регионах и методы ее оценки"
6. В.И. Романенко. Особенности применения коэффициентов утепления отдельных частей тела при расчете тепловой защиты спального мешка Перспективные направления развития современной науки // Сборник научных работ 37й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, март 2018). — Москва: ЕНО, 2018. — 262 с.