

Метрологическое обеспечение предприятий в условиях импортозамещения

(18 учебно-методический семинар-совещание)

**Использование датчиков плотности
теплого потока в медицинских
исследованиях**

Козлов А.Г., д.т.н., ОмГТУ

Бакланова К.С., ОмГУ им. Ф.М. Достоевского

Потуданская М. Г., к.б.н., ОмГУ им. Ф.М. Достоевского

Омск
21 марта 2023 г.

Содержание

1. Введение.
2. Исследование теплообмена на поверхности тела человека с помощью датчиков плотности теплового потока.
3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока производства АО НПП «Эталон» в исследованиях теплообмена на поверхности тела человека.
4. Перспективы применения датчиков плотности теплового потока в медицине
5. Заключение.

1. Введение

Актуальность исследования тепловых потоков на поверхности тела человека:

1. Исследование перфузии в приповерхностных тканях тела человека;
2. Определение комфортных условий жизнеобеспечения человека;
3. Разработка одежды с определенными потребительскими и производственными свойствами (спортивная одежда; защитная одежда; производственная одежда);
4. Исследование теплообменных реакции организма (системы терморегуляции человека) на изменение внешних условий.

ГОСТ Р 57794–2017 (ИСО 7933:2004)

ЭРГНОМИКА ТЕРМАЛЬНОЙ СРЕДЫ. Аналитическое определение и интерпретация теплового стресса с использованием расчета прогнозируемой тепловой нагрузки.

1. Введение

Цель:

Рассмотреть состояние исследований теплообмена на поверхности тела человека с помощью датчиков плотности теплового потока;

Представить результаты практического применения датчиков плотности теплового потока производства АО НПП «Эталон» в исследованиях теплообмена на поверхности тела человека.

2. Исследование теплообмена на поверхности тела человека с помощью датчиков плотности теплового потока

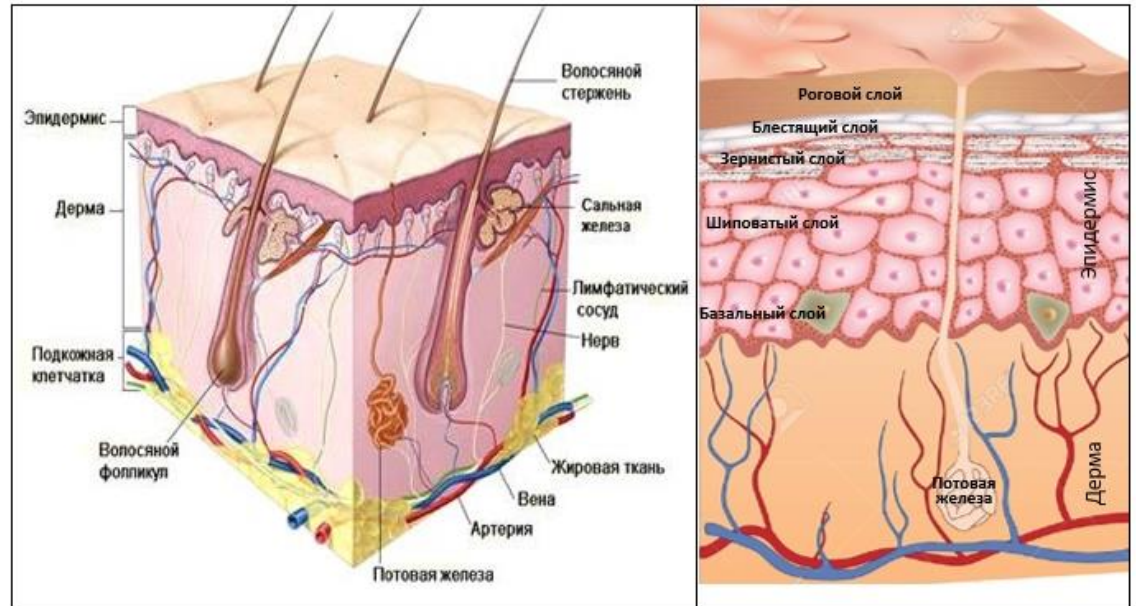
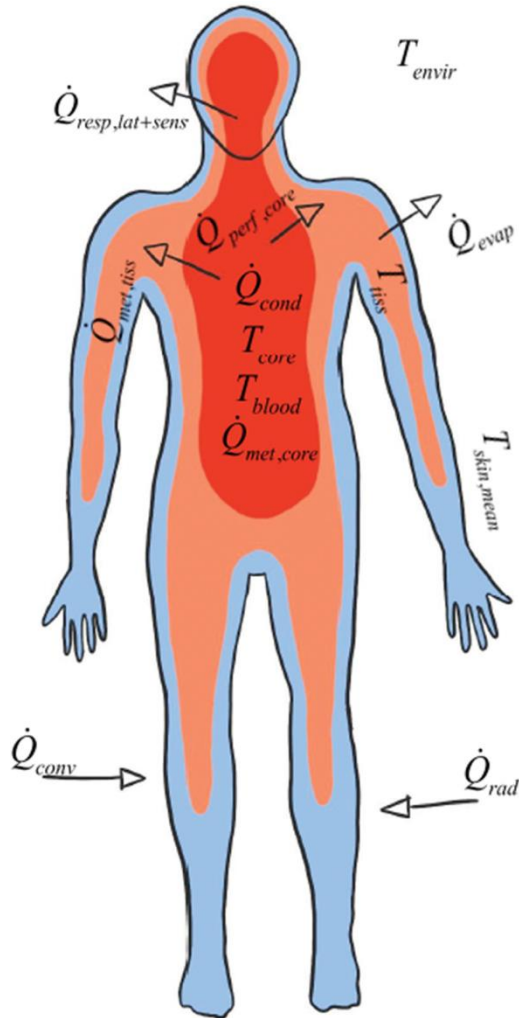
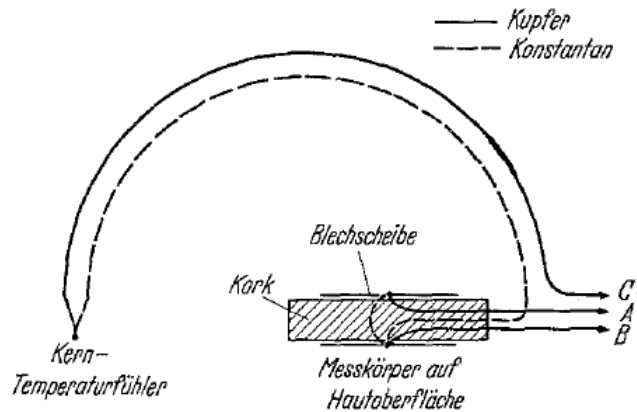


Рис. 2. Строение кожи.

Рис. 1. Система терморегуляции человека

2. Исследование теплообмена на поверхности тела человека с помощью датчиков плотности теплового потока



1. R. Wever und J. Aschoff, "Die Wärmedurchgangszahl als Durchblutungsmass am Menschen," Pflugers. Arch. Eur. J. Physiol., vol. 264, pp. 272–279, Januar 1957.

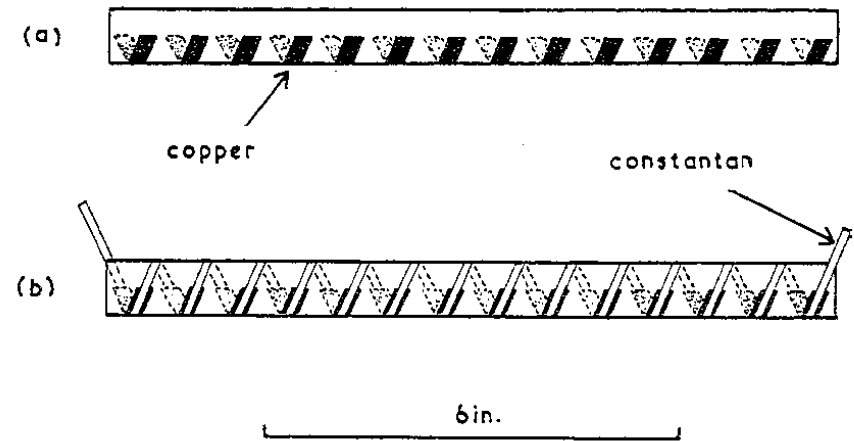
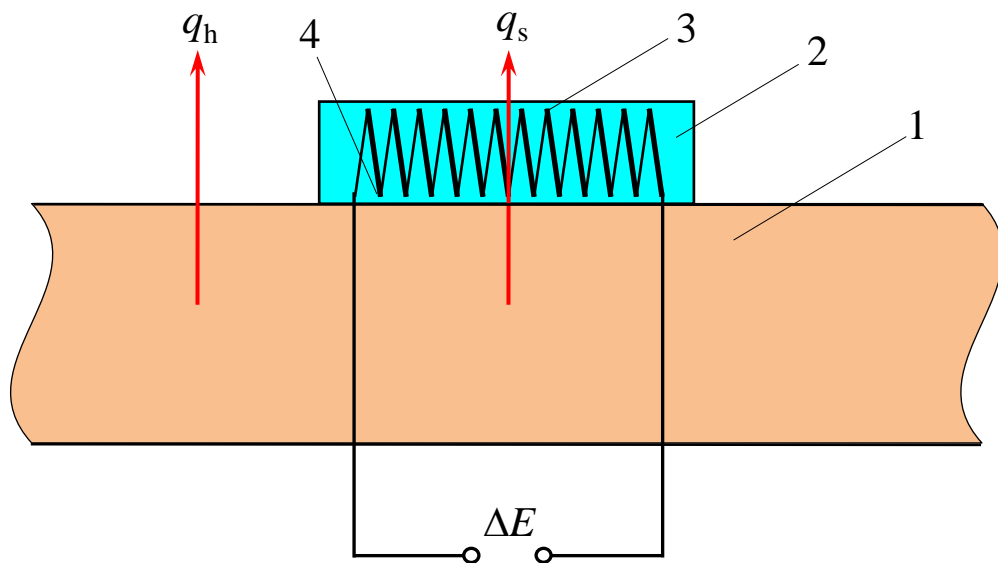


Fig. 1. Method of making thermopile

1. Cairnie, A. B., & Pullar, J. D. (1959). Temperature controller based on measurement of rate-of-change of temperature. *Journal of Scientific Instruments*, 36(6), 249.
2. Schmidt, E. (1925) Device for the Measurement of Heat. US Patent 1,528,383, filled June 11, 1923 and issued Mar. 3, 1925.

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока

1. Методика измерения



$$q_s = \frac{\Delta E}{S};$$

$$\Delta T = T_h - T_{en};$$

$$\alpha = \frac{q_s}{\Delta T};$$

$$\delta_s = \frac{q_h - q_{hs}}{q_h} \cdot 100\% .$$

Рис. 1. Схема использования датчика теплового потока при измерении: 1 – тело человека; 2 – датчик теплового потока на основе термобатарей; 3 – холодный спай термопары; 4 – горячий спай термопары.

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока

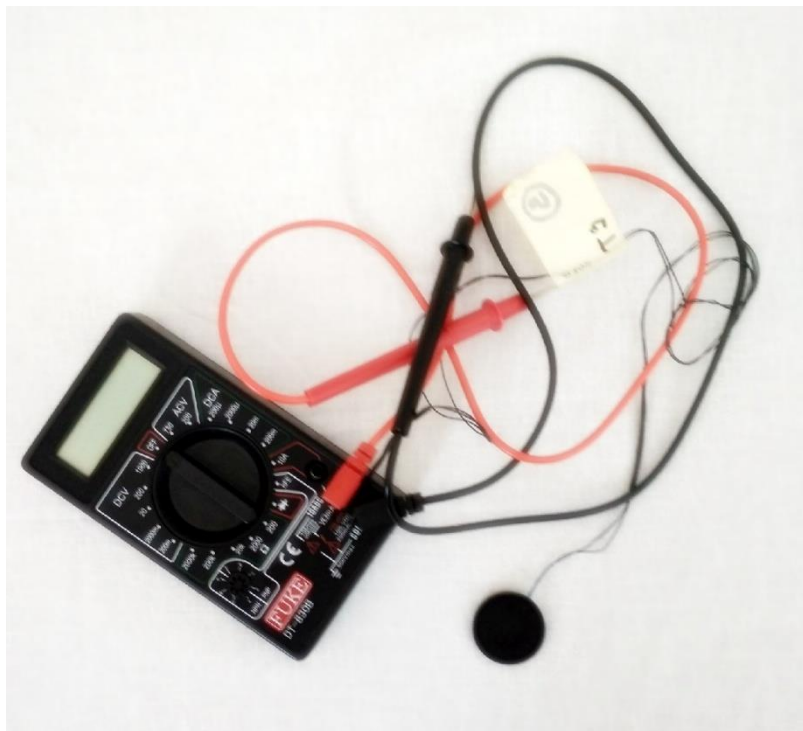


Рис. 1. Датчики теплового потока

ДТП 0924-Р-Д-27-0 (диаметр – 27 мм; чувствительность – 39...41 мкВ/(Вт/м²))

ДТП 0924-Р-Д-20-0 (диаметр – 20 мм; чувствительность – 43...47 мкВ/(Вт/м²))

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока

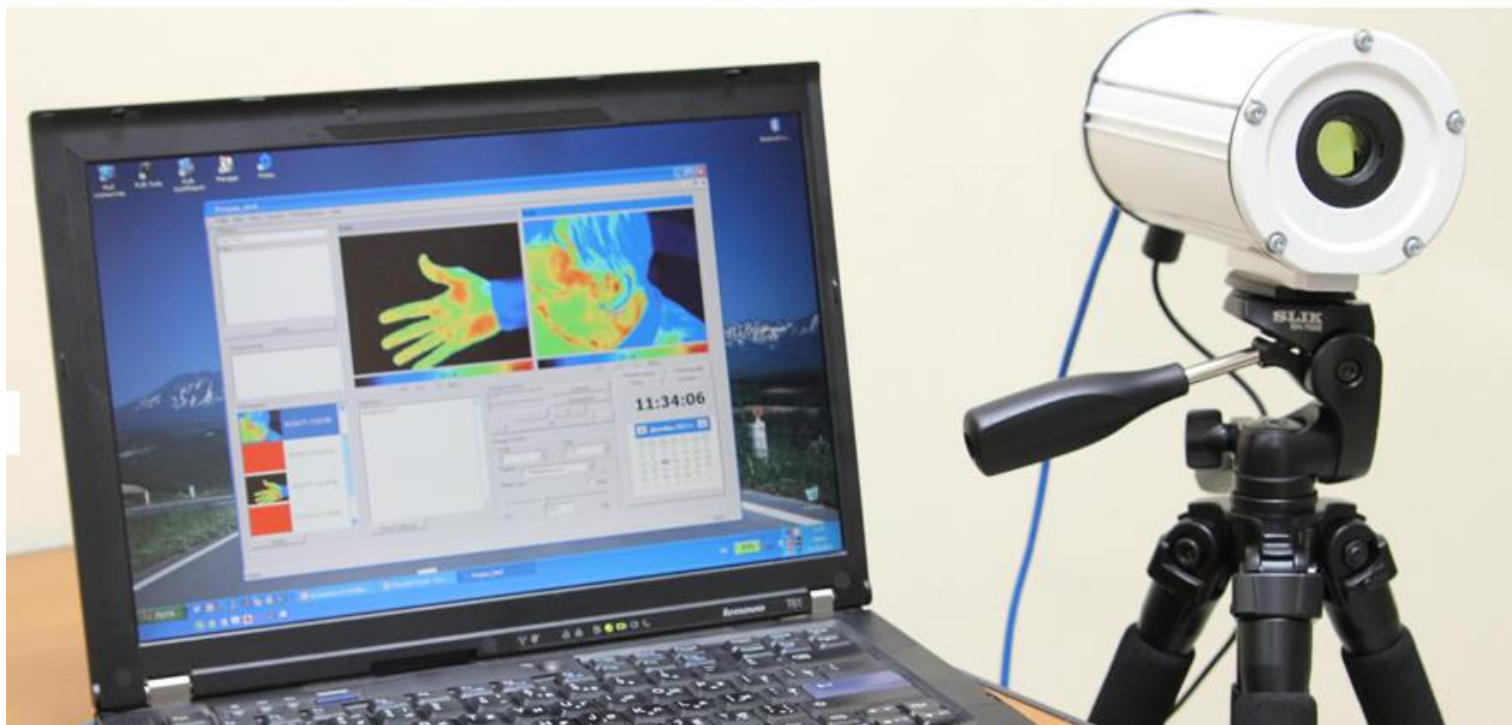


Рис. 1. Медицинский тепловизор «Пергамед».

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока

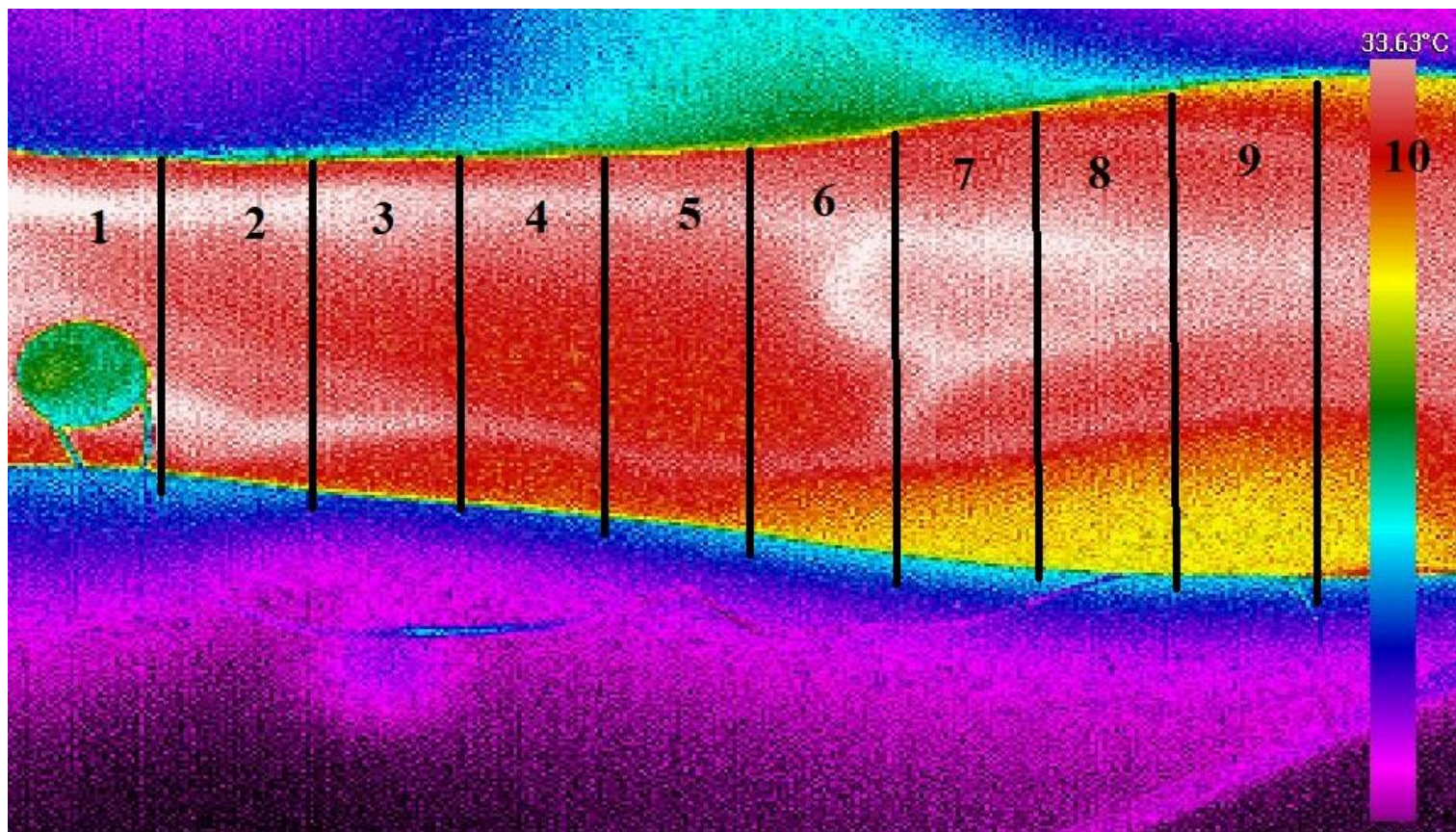
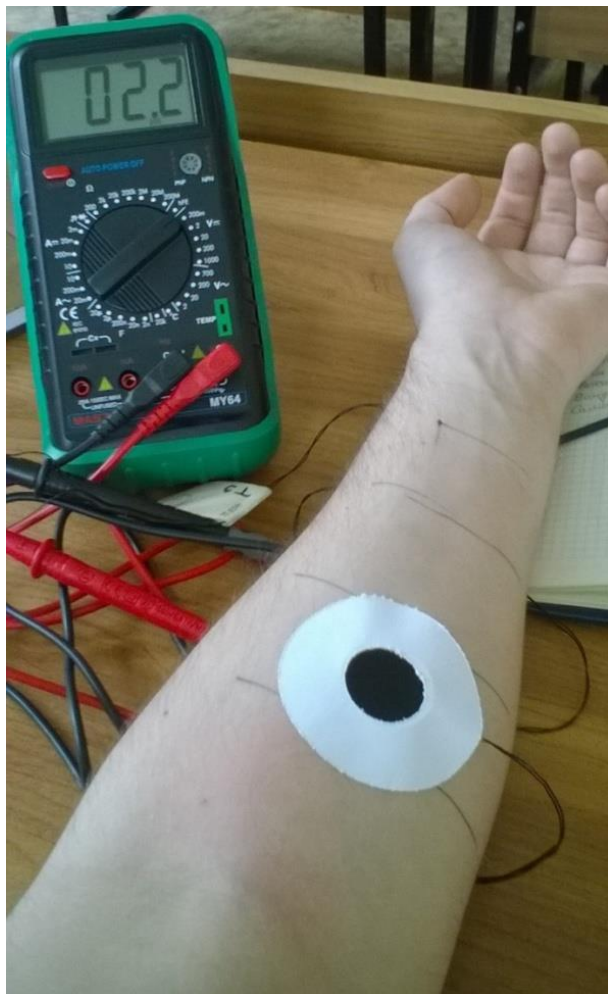


Рис. 1. Термограмма предплечья с разделением на зоны.

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока



Выходное напряжение датчика плотности теплового потока измерялось цифровым мультиметром SIGLENT SDM3065X.

Определялось (по ~100 показаниям):

- среднее значение напряжения;
- минимальное значение напряжения;
- максимальное значение напряжения;
- стандартное среднеквадратичное отклонение напряжения.

Рис. 1. Крепление датчика к поверхности предплечья.

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока

Таблица 1

Минимальные и максимальные значения и среднеквадратичное отклонение (СКО) напряжения датчика теплового потока при измерениях в зонах предплечья

N зоны	Левая предплечье			Правая предплечье		
	Мин. значение, мВ	Макс. значение, мВ	СКО, мВ	Мин. значение, мВ	Макс. значение, мВ	СКО, мВ
1	1,470	1,687	0,0558	1,503	1,751	0,0761
2	1,404	1,787	0,1029	1,393	1,764	0,0671
3	1,463	2,061	0,1551	1,569	2,611	0,1906
4	1,610	3,175	0,3858	1,572	1,797	0,0610
5	2,014	3,190	0,328	1,679	2,021	0,0840
6	1,707	2,057	0,0888	1,431	1,804	0,0948
7	1,656	2,116	0,1031	1,539	1,794	0,0633
8	1,993	2,797	0,1275	1,685	1,957	0,0576
9	1,814	2,750	0,2337	1,293	1,478	0,0602
10	2,020	3,119	0,2892	1,000	1,180	0,0442
11	1,144	1,325	0,0459	0,919	2,505	0,4172
12	1,422	2,456	0,1939	1,019	1,571	0,2146

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока

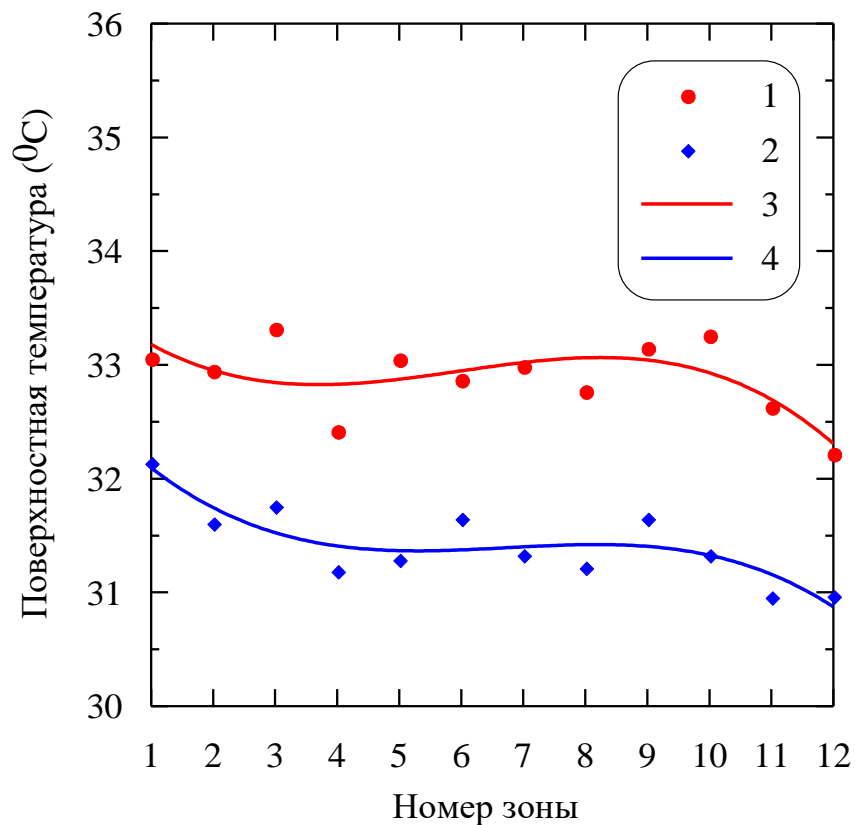


Рис. 1. Значение поверхностной температуры в зонах предплечий: 1 – левое предплечье; 2 – правое предплечье; 3 – аппроксимация для левого предплечья; 4 – аппроксимация для правого предплечья.

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока

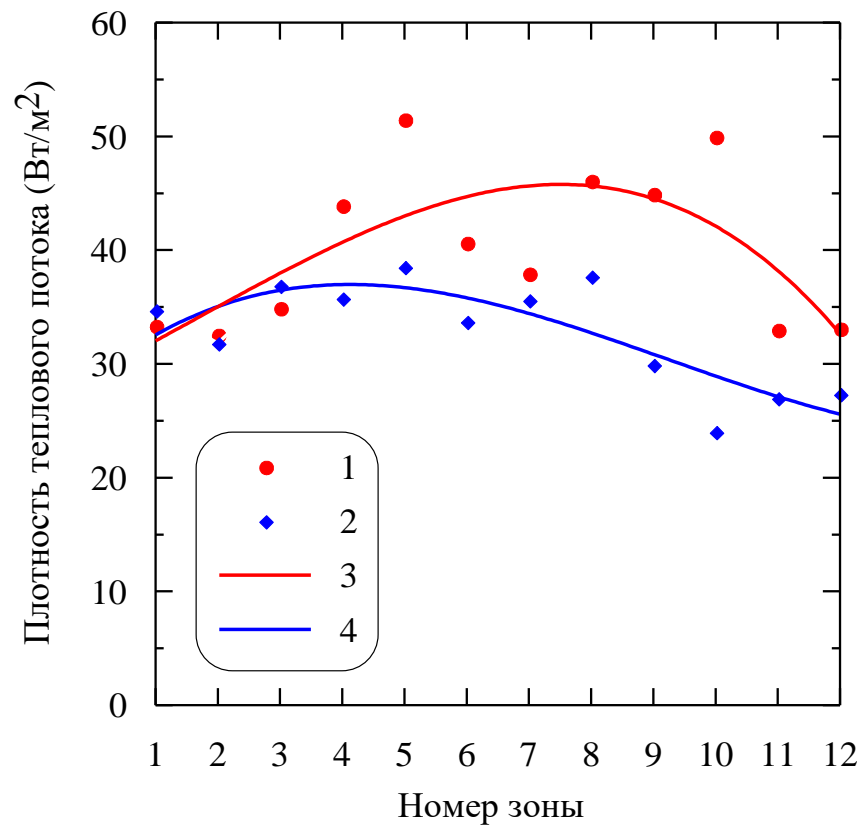


Рис. 1. Величина плотности теплового потока в зонах предплечий: 1 – левое предплечье; 2 – правое предплечье; 3 – аппроксимация для левого предплечья; 4 – аппроксимация для правого предплечья.

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока

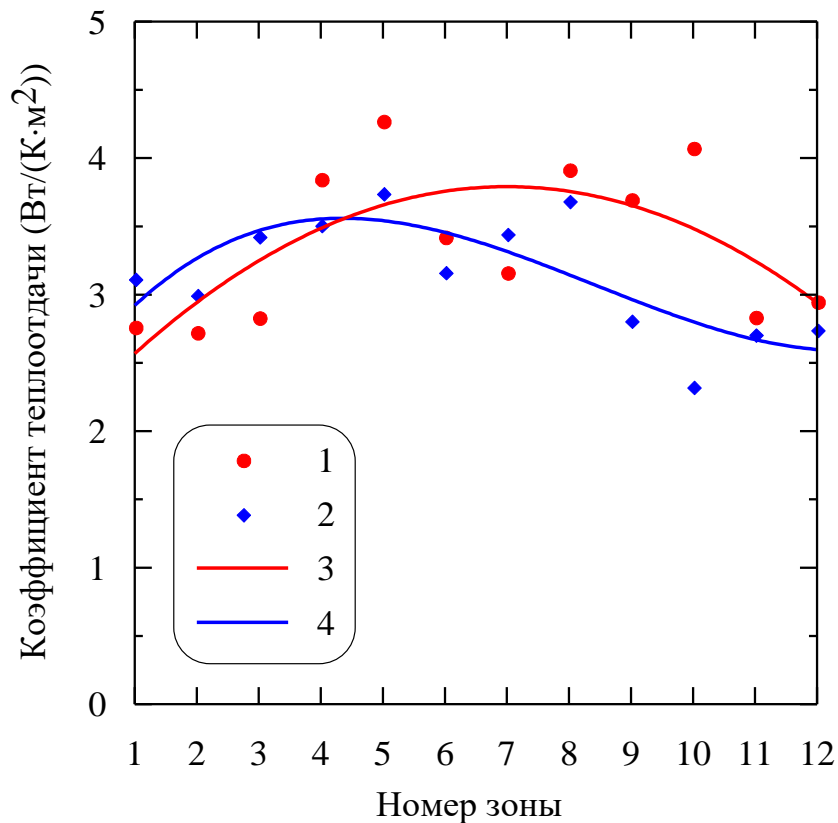


Рис. 1. Значение коэффициента теплоотдачи в зонах предплечий: 1 – левое предплечье; 2 – правое предплечье; 3 – аппроксимация для левого предплечья; 4 – аппроксимация для правого предплечья.

3. Результаты практического применения датчиков плотности теплового потока

Таблица 1

Статистика для измеренных тепловых параметров предплечий

Параметр	Поверхностная температура, °С		Плотность теплового потока, Вт/м ²		Коэффициент теплоотдачи, Вт/(К·м ²)	
	ЛП	ПП	ЛП	ПП	ЛП	ПП
Минимальное значение	32.22	30.96	32.59	24.04	2.73	2.33
Максимальное значение	33.32	32.14	51.51	38.54	4.28	3.75
Среднее значение	32.89	31.43	40.18	32.77	3.38	3.14
Медиана	32.97	31.33	39.31	34.23	3.30	3.14
Среднеквадратичное отклонение	0.33	0.35	6.97	4.71	0.57	0.44
Относительное среднеквадратичное отклонение, %	1.00	1.11	17.30	14.37	16,86	14.01
Относительная систематическая неопределенность измерения, %	–	–	4.78	4.71	–	–

ЛП – левое предплечье; ПП – правое предплечье.

4. Перспективы применения датчиков плотности теплового потока в медицине

1. Метрологическое обеспечение

Неопределенность измерения плотности теплового потока

Факторы влияющие на неопределенность измерения плотности теплового потока:

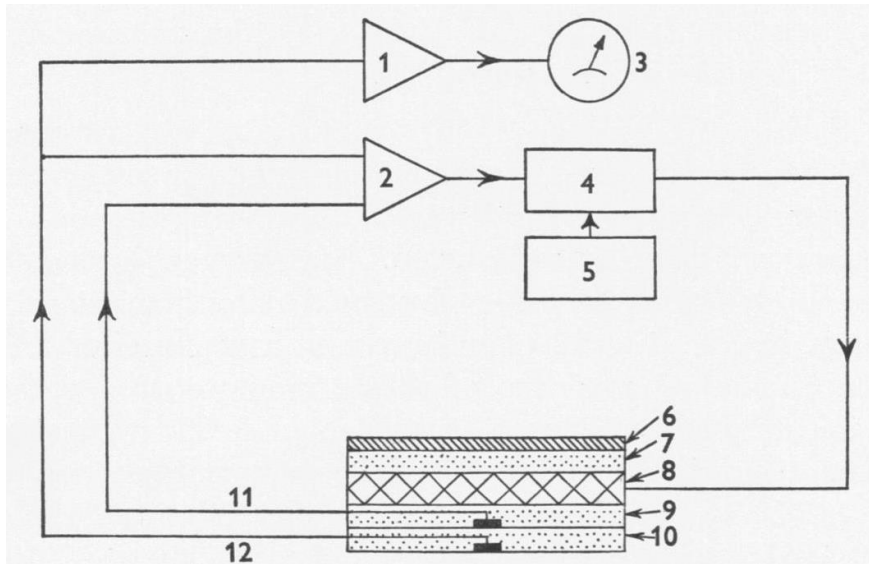
1. Систематическая неопределенность измерения плотности теплового потока датчиком дополнительной стенки;
2. Неоднородность распределения температуры по поверхности тела человека;
3. Временная зависимость распределения температуры по поверхности тела человека;
4. Способ крепления датчика плотности теплового потока на поверхности тела человека.

Факторы влияющие на неопределенность определения коэффициента теплоотдачи:

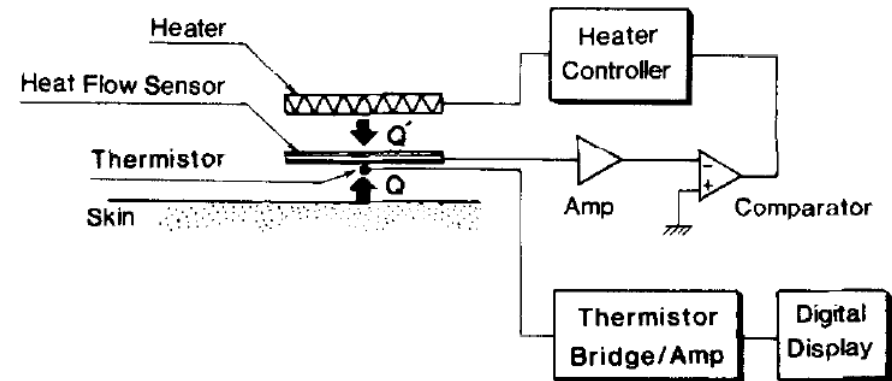
1. Неопределенность измерения плотности теплового потока датчиком;
2. Неопределенность измерения температуры на поверхности тела человека;
3. Неоднородность распределения температуры по поверхности тела человека;

4. Перспективы применения датчиков плотности теплового потока в медицине

1. Мониторинг внутренней температуры тела человека с поверхности неповрежденной кожи.



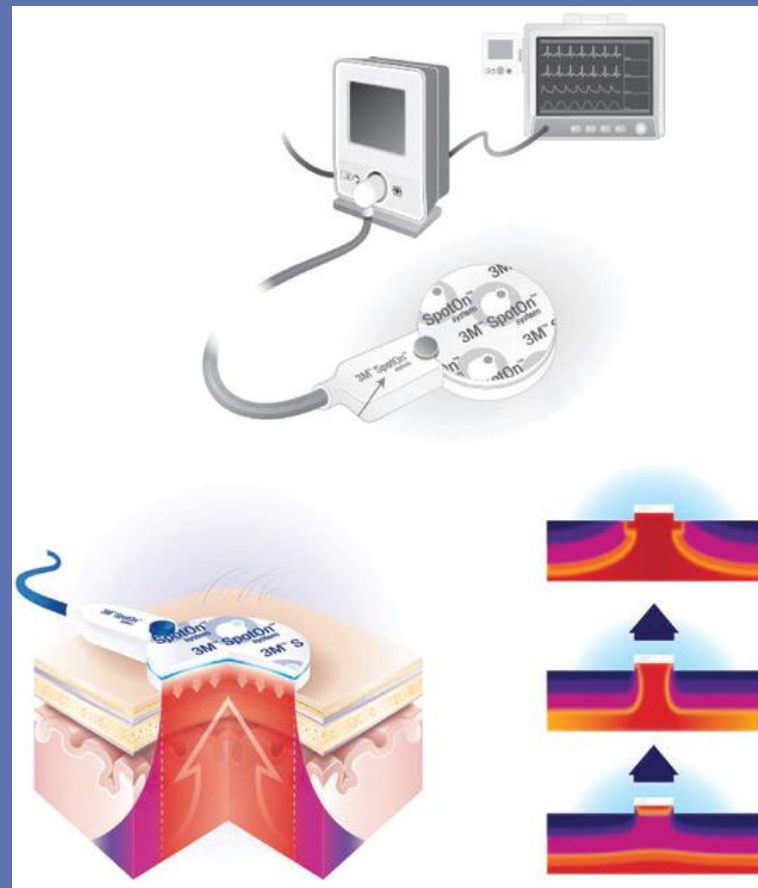
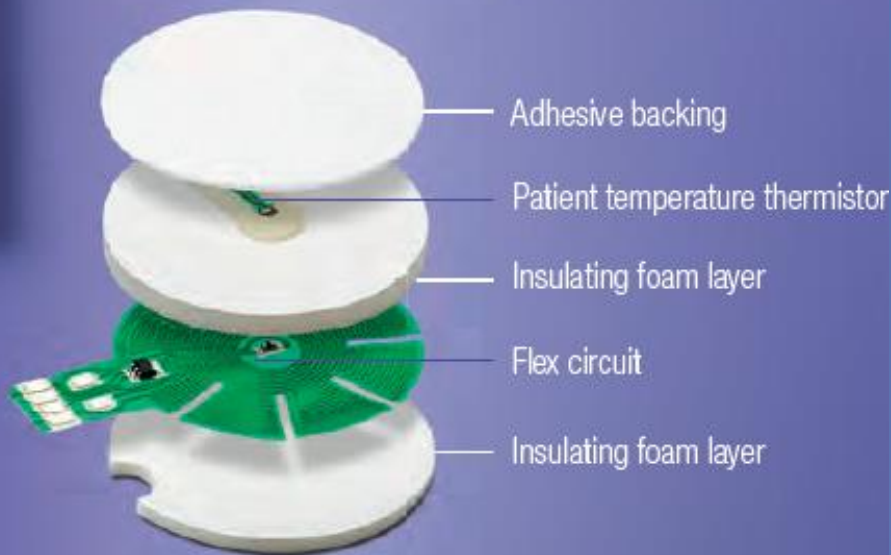
Fox, R.H. and Solman, A.J. A new technique for monitoring the deep body temperature in man from the intact skin surface. *J. Physiol. (Lo&)* 1971,212, 8-10



Fukuoka, M., Yamori, Y., & Toyoshima, T. (1987). Twenty-four hour monitoring of deep body temperature with a novel flexible probe. *Journal of biomedical engineering*, 9(2), 173-176.

4. Перспективы применения датчиков плотности теплового потока в медицине

A technology that is anything but skin deep:



4. Заключение

Представленные исследования показали, что датчики плотности тепловых потоков типа «дополнительная стенка» могут быть использованы для изучения тепловых потоков с поверхности тела человека. Относительная систематическая погрешность датчиков, определенная аналитически, не превышает 5 %. На основании проведенных исследований определено распределение плотности теплового потока и значений коэффициента теплоотдачи по длине левого и правого предплечий.

Представленные результаты показывают также, что датчики плотности теплового потока типа «дополнительная стенка» могут быть использованы совместно с тепловизионными установками для изучения тепловых процессов на поверхности тела человека и получения дополнительной информации о тепловых процессах в организме человека и состояниях, связанных с этими процессами систем организма, например, таких как система периферического кровообращения.



Спасибо за внимание