



**ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»**

---

## **Лекция № 7**

# **Электрическое сопротивление тела человека**

---

# 1. Удельное сопротивление тела человека

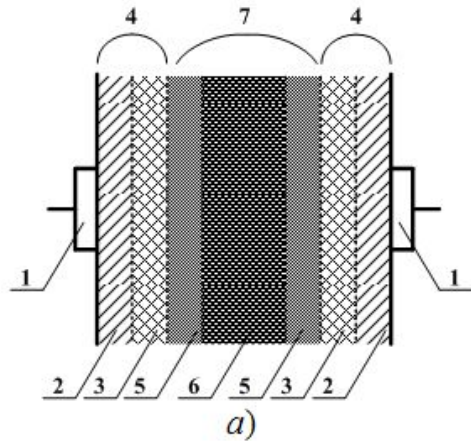
---

При токе частотой 50 Гц удельное сопротивление составляет, Ом·м:

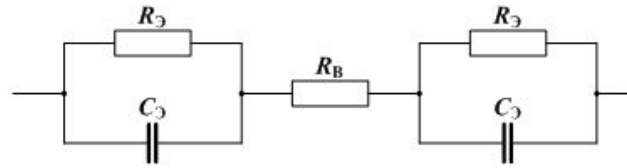
– сухой кожи.....	$3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$
– кости (без надкостницы).....	$10^4 - 2 \cdot 10^6$
– жировой ткани.....	30–60
– мышечной ткани.....	1,5 – 3
– крови.....	1 – 2
– спинномозговой жидкости.....	0,5 – 0,6

---

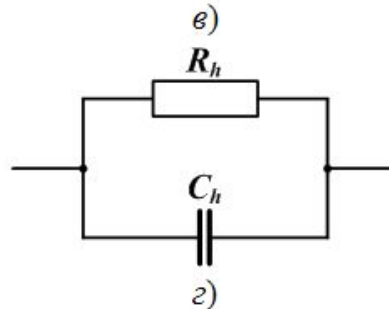
## 2. Факторы, влияющие на электрическое сопротивление тела человека



а)



б)



в)

Выражение полного сопротивления тела человека запишется как

$$z_h = \frac{R_h}{\sqrt{1 + R_h^2 \omega^2 C_h^2}}, \text{ Ом,}$$

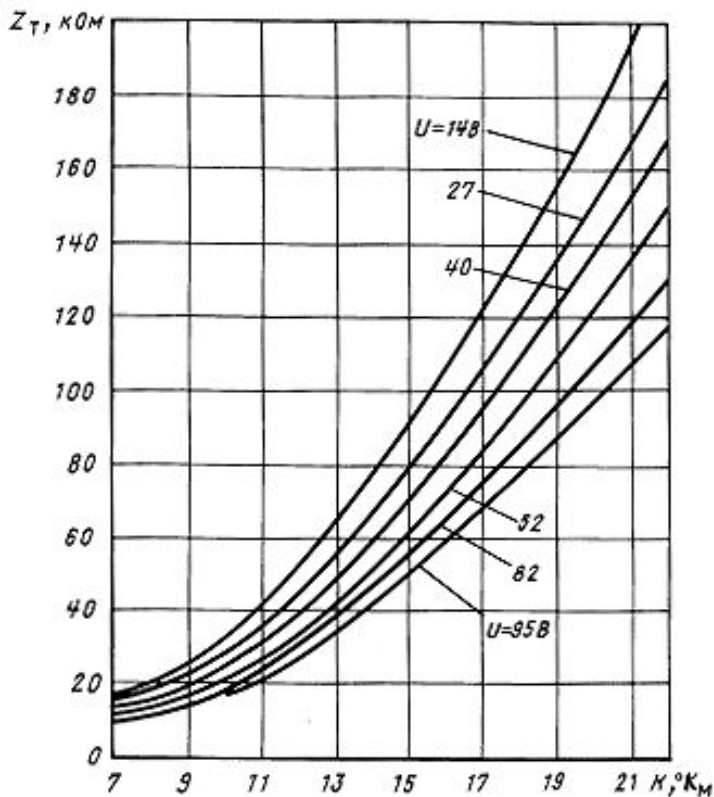
где  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота,  $\text{с}^{-1}$ ,

$C_h = 0,5 \cdot C_Э$  – емкость тела человека.

К определению электрического сопротивления тела человека:

а – схема измерения сопротивления; б, в – эквивалентные схемы сопротивления тела человека; г – упрощенная эквивалентная схема; 1 – электроды; 2 – роговой слой кожи; 3 – ростковый слой кожи; 4 – наружный слой кожи – эпидермис (роговой и ростковый слои); 5 – внутренний слой кожи (дерма); 6 – подкожные ткани тела; 7 – внутренние ткани тела (внутренние слои кожи и подкожные ткани);  $z_Э$  – полное сопротивление эпидермиса;  $R_В$  – сопротивление внутренних тканей;  $R_Э$  – активное сопротивление эпидермиса;  $C_Э$  – емкость образовавшегося конденсатора;  $R_h$  – активное сопротивление тела;  $C_h$  – емкость тела

## 2.1. Зависимость электрического сопротивления тела человека $Z$ от параметров шахтного микроклимата



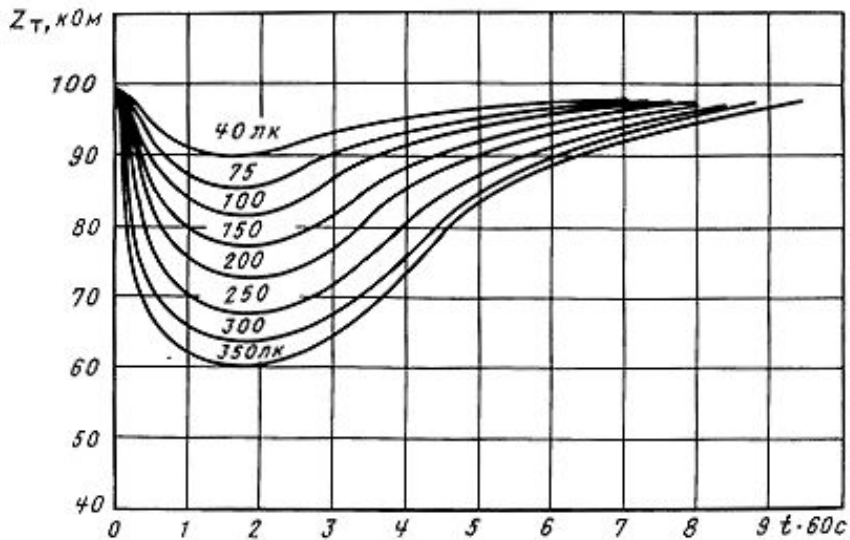
В зависимость сопротивления тела человека от параметров шахтного микроклимата можно представить в виде формулы:

$$Z = \frac{Z_T}{\xi} = \frac{0,45 \cdot K^{2,3}}{\sqrt[3]{U \cdot \xi}},$$

где  $Z$  – действительное сопротивление тела человека;  $Z_T$  – эмпирическое сопротивление тела человека на отрезке поражения от подушечки среднего пальца до подушечки большого пальца той же руки;  $\xi$  – коэффициент, зависящий от фактического пути тока:  $\xi = 6$  для пути тока «рука-рука»;  $\xi = 10$  для пути тока «рука-ноги»;  $\xi = 9$  для пути тока «рука-спина»;  $K$  – шахтный микроклимат,  $K_M$ ;  $U$  – напряжение, приложенное к телу человека, В.

Шахтный микроклимат существенно влияет на условия поражения и электрофизиологию человеческого организма. При увеличении температуры и относительной влажности воздуха, определенных в «мокрых» катаградах, а также при снижении скорости движения воздуха в выработках, электрическое сопротивление тела человека не остается постоянным и также возрастает.

## 2.2. Зависимость электрического сопротивления тела $Z$ человека от светового раздражителя



Зависимость сопротивления тела человека от уровня освещенности рабочего места:

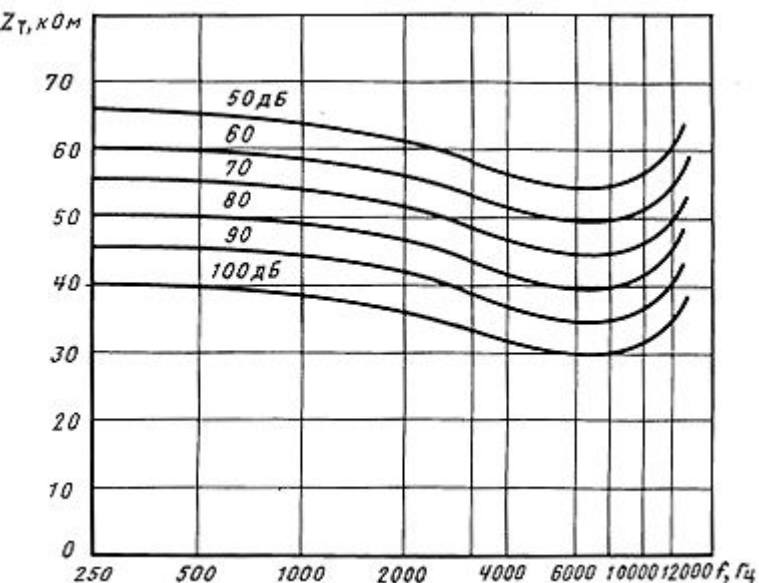
$$Z = \frac{0,45 \cdot K^{2,3} - 0,05 \cdot E}{\sqrt[3]{U \cdot \xi}}$$

где  $K$  – шахтный микроклимат,  $K_m$ ;  $E$  – освещенность, лк.

Сопротивление тела человека, зрение которого адаптировалось к темноте, уменьшается в течение 1-2 мин с момента начала воздействия света и затем возвращается к норме в течение времени адаптации человека к изменившейся освещенности. Величина изменения сопротивления тела человека и продолжительность адаптации зависят от силы света и параметров микроклимата.



## 2.3. Зависимость электрического сопротивления тела $Z$ человека от акустических раздражителей



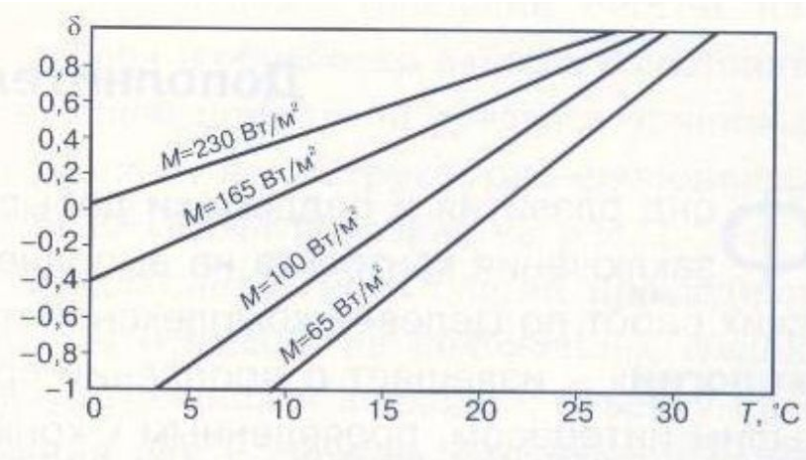
Зависимость сопротивления тела человека от уровня силы звука и частоты акустического раздражителя на рабочем месте:

$$Z = \frac{0,45 \cdot K^{2,3} - 1,3 \cdot L \cdot e^{-0,006 \cdot (f-7)^2}}{\sqrt[3]{U \cdot \xi}},$$

где  $L$  – уровень силы звука, дБ;  $f$  – частота акустического раздражителя, Гц;  $e$  – число Эйлера,  $e = 2,718$ .

Сопротивление тела человека изменяется под воздействием внешних акустических раздражителей и зависит не только от длительности воздействия, но и от частоты и силы акустического сигнала.

## 2.4. Зависимость электрического сопротивления тела $Z$ человека от коэффициента теплового дискомфорта

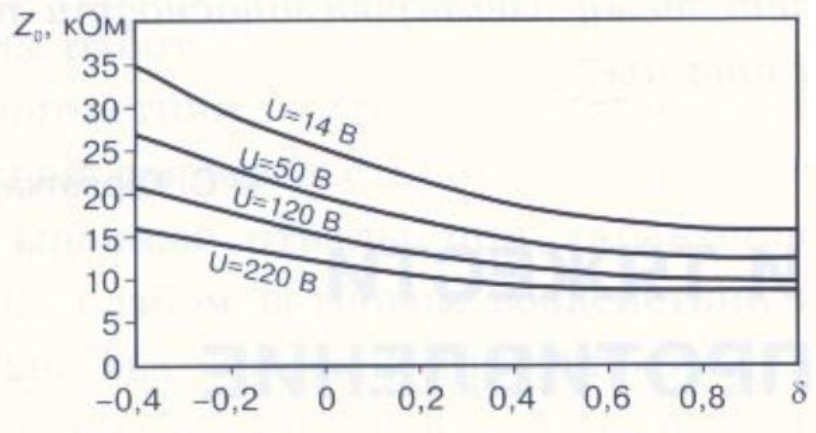


Климатические условия труда оцениваются коэффициентом теплового дискомфорта  $\delta$ , величина которого безразмерна. Этот показатель определяет, в какой степени климатические условия труда в данной среде отличаются от стандарта теплового комфорта.

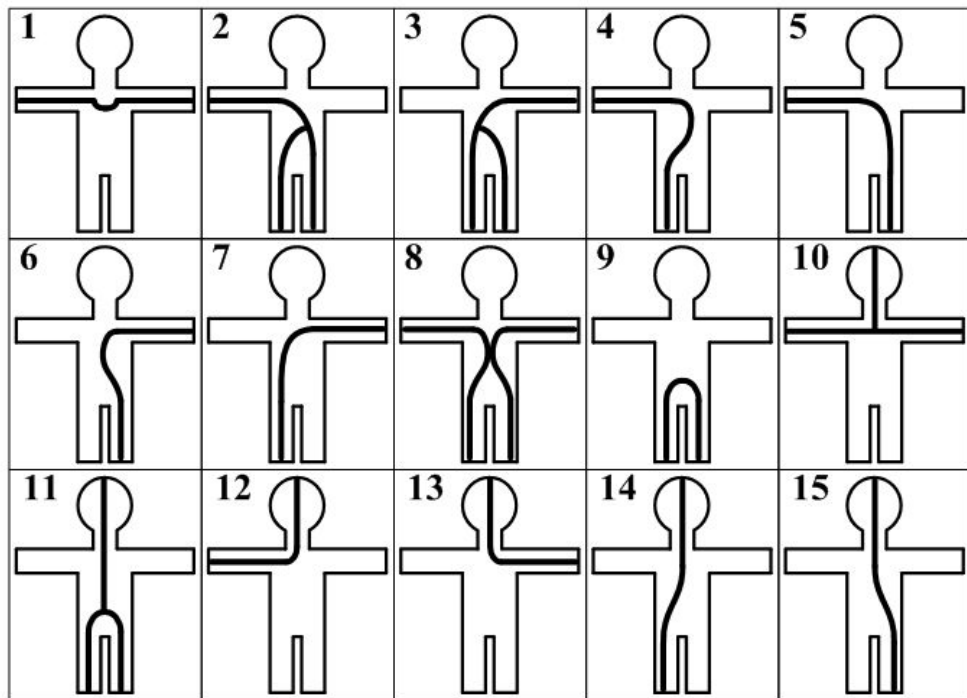
$\delta < 0$  – холодная внешняя среда;  $\delta = 0$  – тепловой комфорт;  $0 < \delta < 1$  – работа менее комфортна, но в целом безопасна для здоровья;  $\delta \geq 1$  – работа некомфортная в тепловом отношении и опасная для здоровья.

Зависимость сопротивления тела человека от  $\delta$  при известном напряжении поражающего тока:

$$Z = \frac{70(1 + \delta)^{-0,7}}{\sqrt[3]{U}}$$



### 3. Влияние пути тока на исход поражения



Характерные пути тока в теле человека («петли тока»)

- 1 – «рука – рука»; 2 – «правая рука – ноги»; 3 – «левая рука – ноги»;  
4 – «правая рука – правая нога»; 5 – «правая рука – левая нога»; 6 – «левая  
рука – левая нога»; 7 – «левая рука – правая нога»; 8 – «обе руки – обе ноги»;  
9 – «нога – нога»; 10 – «голова – руки»; 11 – «голова – ноги»;  
12 – «голова – правая нога»; 13 – «голова – левая нога»; 14 – «голова – правая  
нога»; 15 – «голова – левая нога»

**Ощутимый ток** – электрический ток, вызывающий при прохождении через организм ощутимые раздражения (пороговый ощутимый ток – наименьшее значение ощутимого тока).

**Неотпускающий ток** – электрический ток, вызывающий при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник (пороговый неотпускающий ток – наименьшее значение неотпускающего тока).

**Фибрилляционный ток** – электрический ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца (пороговый фибрилляционный ток – наименьшее значение фибрилляционного тока).



### 3.1. Пороговые значения токов

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	Переменный, 50 Гц	Переменный, 400 Гц	Постоянный
Ток, мА, не более	0,3	0,4	1
Напряжение, В	2	3	8

**пороговый осязаемый ток** – 0,6–1,5 мА переменного с частотой 50 Гц и 5–7 мА – постоянного;

**пороговый неотпускающий ток** – 10–15 мА и более переменного с частотой 50 Гц и 50–80 мА постоянного (следует отметить, что при постоянном токе, неотпускающих токов нет, так как человек при любых значениях тока может самостоятельно оторваться от токоведущих частей, однако в момент отрыва возникают весьма болезненные сокращения мышц, аналогичные и таких размеров, как и при переменном токе);

**пороговый фибрилляционный ток** – 100–350 мА переменного с частотой 50 Гц и 300 мА постоянного.