



Лабораторная работа № 1. Сравнение теплообмена в воде и воздухе

Цель работы – исследовать влияние фазового состояния среды (вода, воздух) на теплофизические параметры СТС при гипотермии.

Задание к работе – сравнить тепловые потери, температуры разных тканей, а также безопасное время нахождения при охлаждении в воде и в воздухе.

1.1. Общие положения

В случае аварийного приземления или приводнения летчик может оказаться в безлюдной местности при самых различных, в том числе экстремальных температурных условиях. Наибольшую опасность представляет приводнение в холодную воду. При отсутствии специальной защиты время жизни в такой воде по физиологическим нормативам не превышает 15...30 мин. Причина состоит в высоких удельных тепловых нагрузках на организм в воде по сравнению с воздушной средой [5, 12, 15].

Специфическое действие воды связано с двумя её физическими свойствами. Во-первых, коэффициент теплопроводности воды примерно в 20 раз больше, чем в воздушной среде: поэтому пропорционально возрастают коэффициенты теплоотдачи для абсолютно одинаковых перепадов температур и скоростей среды. Во-вторых, теплоёмкость воды в четыре раза выше, чем у воздуха: т.е. она представляет собой более эффективную среду для отвода («стока») тепла. Совместное действие этих причин приводит к тому, что вода фактически служит идеальным теплоносителем для охлаждения любого объекта, имеющего более высокую температуру, чем она.

Для исследования влияния гипотермии на теплофизические параметры СТС человека моделируются следующие задачи:

Таблица 1.1

№ Лабораторной работы	Название
1	Сравнение гипотермии в воздушной и водной среде
2	Влияние мощности внутренних источников тепла
3	Влияние температуры воды

Для выполнения лабораторных работ и оформления результатов необходимо воспользоваться *Приложением 1* («Инструкция по работе с программой»).

Температура разных тканей в процессе охлаждения в воздушной и водной среде.
На графике (рис. 1.1) представлено распределение температур тканей при гипотермии в воде и воздухе для мужчины 20 лет. Температура окружающей среды – 0 С. По оси X отложено количество расчетных шагов (1000 шагов – это 1 час времени), по оси Y – температура тканей. На рисунке отмечено распределение для воды и для воздуха. Горизонтальной линией показано пороговое значение ректальной температуры – 24° (если температура тела опускается ниже, то наступает летальный исход). Пересечение температуры тканей с этой линией показывает предельное время функционирования ткани, после которого наступают судороги и отказ ее работы. Видно, что охлаждение в воде происходит гораздо быстрее, чем в воздухе, причем быстрее всего остывают руки, ноги и грудная клетка. Охлаждение человека до предельно допустимой температуры в воде без защитного костюма наступает в среднем за 12-15 минут, в воздухе же порогового значения температуры за час достигают только руки, что само по себе допустимо.

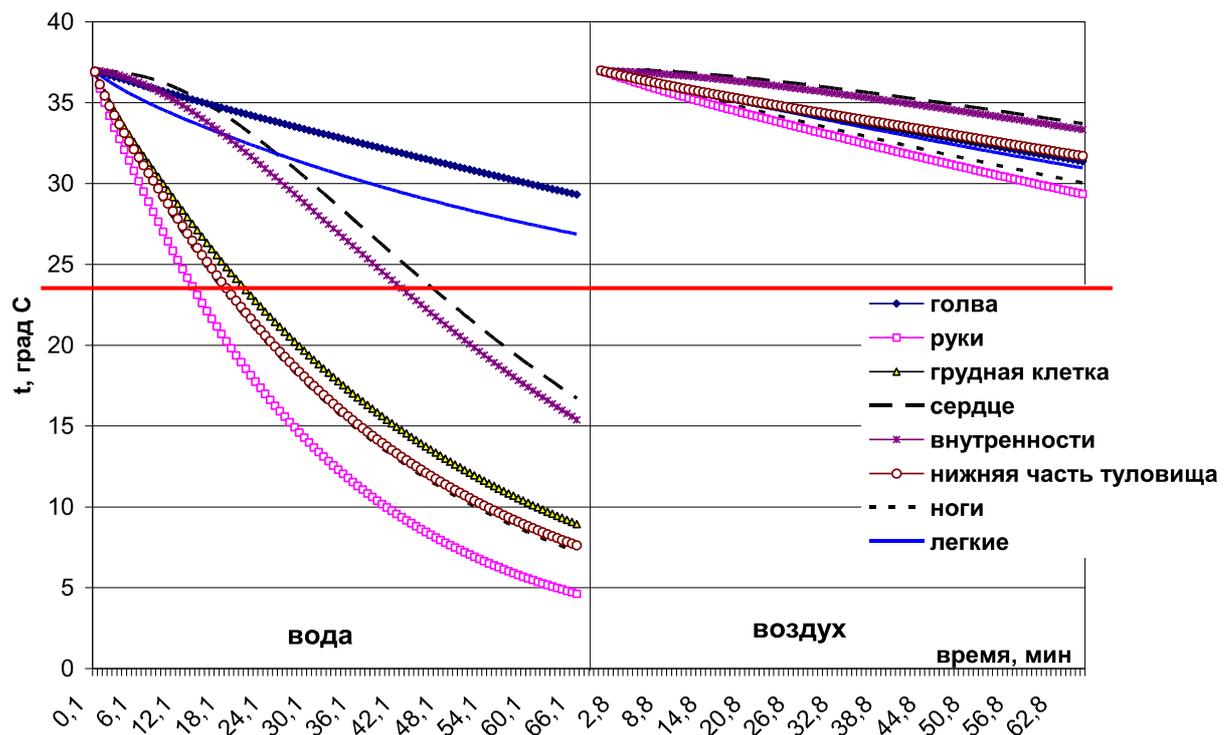


Рис. 1.1. Температуры тканей при охлаждении в воде и воздухе

Тепловые потери тканей в процессе охлаждения в воздушной и водной среде. На графике (рис. 1.2) представлены значения потерь тепла различных тканей при охлаждении в воде и воздухе для мужчины 20 лет. Температура окружающей среды – 0 С. Анализ результатов показывает, что в воде теплотери максимальны в начальный момент времени (и больше в 10...15 раз чем в воздухе), и затем нелинейно уменьшаются в 5...6 раз по мере охлаждения тканей. Максимальные потери приходятся на ноги, туловищу и руки.

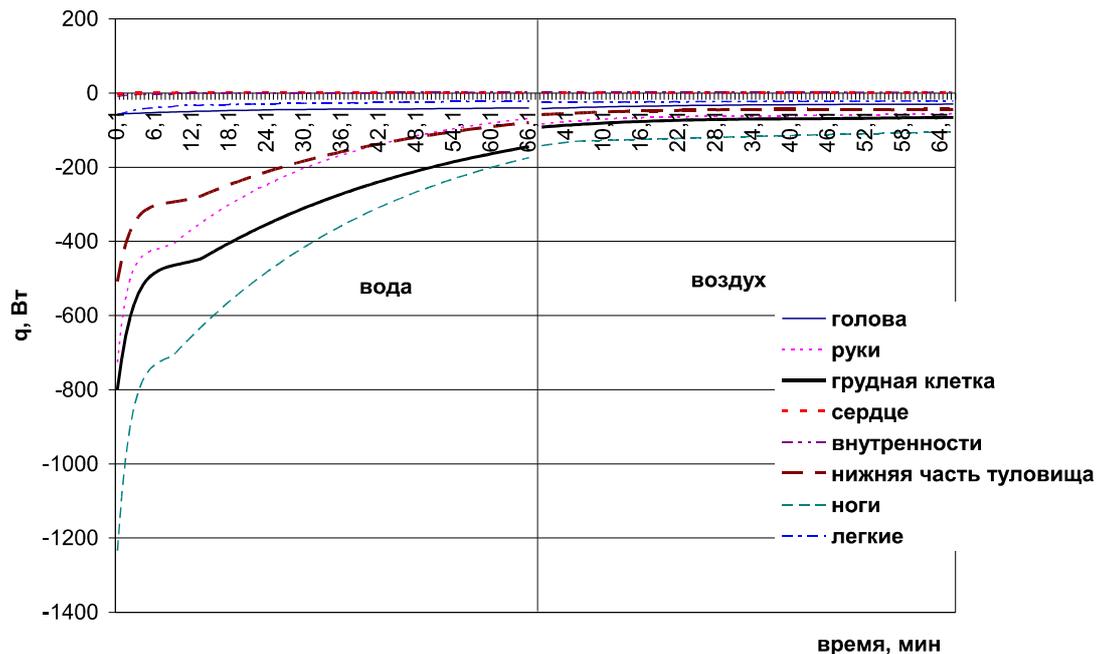


Рис. 1.2. Тепловые потери тканей при охлаждении в воде и воздухе



Скорость остывания тканей связана с их формой, расположением внутри СТС, соотношением массы и площади поверхности теплообмена и свойствами окружающей среды. Быстрее всего остывают руки и ноги, медленнее – внутренние органы, которые не имеют теплообмена с окружающей средой. Среднемассовые температуры «ядра» в воде достигают критической температуры 24 °С за 15 минут, тогда когда в воздухе за час минимальная температура, которую достигают расчетные элементы равна 28 °С.

1.2. Методические указания

Последовательность работы:

- ознакомиться с теоретическим описанием процесса охлаждения (гипотермии) в водной среде;
- выполнить расчеты согласно таблице исходных данных (табл. 1.2) для мужчины и женщины при температуре воды и воздуха 0 °С;
- построить: температуры тканей (STR_TK.DAT), температуры слоев тканей (STR_GA.DAT), тепловых потерь тканей (STR_Q.DAT), температур кожи (STR_KG.DAT), перепада температур (STR_DT.DAT);
- написать выводы по влиянию процессов охлаждения в воде и воздухе на теплофизические параметры организма.

Таблица 1.2

Таблица исходных данных к работе

№	Пол		Возраст строка 5	Окружающая среда		Температура среды строка 2
	мужчина	женщина		вода	воздух	
	строка 4	строка 4		строка 1	строка 1	
1	1	2	10	2	1	0
2	1	2	20	2	1	0
3	1	2	30	2	1	0
4	1	2	40	2	1	0
5	1	2	50	2	1	0
6	1	2	10	2	1	0
7	1	2	20	2	1	0
8	1	2	30	2	1	0
9	1	2	40	2	1	0
10	1	2	50	2	1	0

Требования к выводам:

- установить скорости охлаждения различных тканей и выделить наиболее опасные при охлаждении ткани, требующие тепловой защиты;
- выполнить качественное и количественное сравнение изменения температур тканей, тепловых потерь тканей в водной и воздушной среде;
- оценить безопасное время нахождения в воде и воздухе.



Лабораторная работа № 2. Влияние мощности внутренних источников тепла

Цель работы – исследовать влияние мощности внутренних источников тепла (теплопродукции организма) на теплофизические параметры СТС.

Задание к работе – сравнить тепловые потери, температуры разных тканей и различных слоев ткани при наличии и отсутствии источников внутренних тепловыделений при охлаждении в воде.

2.1. Общие положения

Под внутренними источниками тепла в физиологии понимают теплопродукцию внутренних органов и мышц. К первой группе источников тепла относятся органы пищеварения и печень за счет тепловыделений при химических реакциях, однако, величина тепловыделений внутренних органов незначительна – 100...200 Вт. Ко второй группе относятся тепловыделения за счет мышечной работы или *теплопродукция организма*. При совершении внешней механической работы лишь незначительная часть энергии химических реакций окисления тратится на ее совершение. Основная доля энергии выделяется в организме в виде тепла (*теплопродукция*), при этом КПД работы мышц составляет 20...25 %, т.е. на единицу полезной внешней работы выделяется 4...5 единицы «бесполезных» тепловыделений. Теплопродукция человека зависит от возраста и пола, питания, мышечной деятельности, температуры окружающей среды, потребления кислорода. Величина теплопродукции связана с интенсивностью внешней работы и для «среднего» человека дана в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Теплопродукция организма при различной внешней нагрузке

Характер выполняемой работы	Интенсивность внешней работы, Вт	Теплопродукция, Вт
Покой	-	87 ... 104.5
Легкая	20 ... 42	104.5 ... 279
Средняя	42 ... 74	279 ... 418
Тяжелая	74 ... 147	418 ... 697
Очень тяжелая	147 ... 206	697 ... 1045
Изнурительная	206	1045

Теплопродукция летчика в зависимости от сложности полета: простой полет – 175 Вт, средний полет – 280 Вт, сложный полет – 408 Вт.

Энерготраты организма. Общие энерготраты организма человека определяются следующим выражением:

$$Q_{\text{эт}} = Q_{\text{тп}} + N$$

где $Q_{\text{эт}}$ – общие энерготраты, $Q_{\text{тп}}$ – теплопродукция, N – интенсивность внешней работы.

Средний здоровый человек способен поддерживать энерготраты до 1750 Вт лишь в течение 3...5 мин. Тренированные первоклассные спортсмены – до 1 ч. Максимальные энерготраты в очень короткий промежуток времени (до секунд) могут быть и значительно больше у специально тренированных людей (например, штангистов), но это приводит к появлению так называемого «кислородного долга» в мышцах.

Температура слоев при наличии тепловыделений при охлаждении в водной среде Расчеты выполнены в диапазоне мощности $q = 0, 500$ и 1000 Вт. Установлено, что с увеличением q происходит рост температуры «оболочки» (рис. 2.1) за счет конвективного переноса тепла в нее и увеличение температуры «ядра» (рис. 2.2). При этом суммарные тепловые потери в окружающую среду возрастают за счет сохранения температур «оболочки» и «ядра» на более высоком уровне.

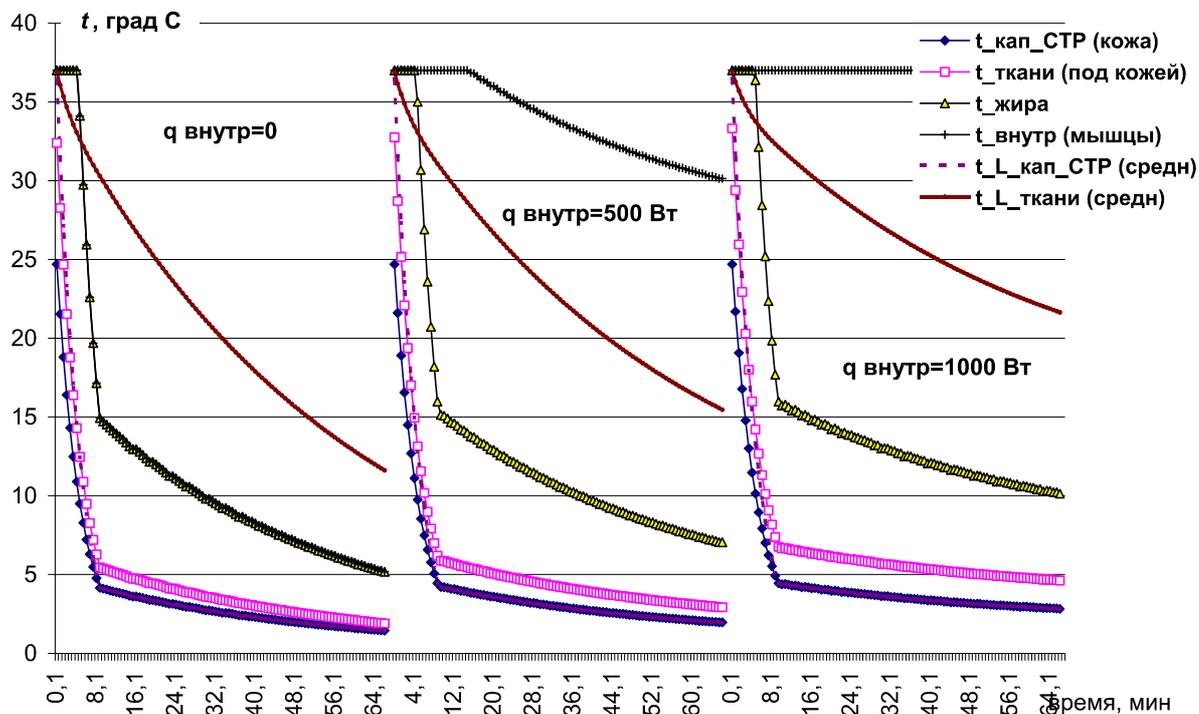


Рис. 2.1. Влияние мощности внутренних источников тепла на температуры на границах слоев расчетного элемента

2.2. Методические указания

Последовательность работы:

- выполнить расчеты согласно таблице исходных данных (табл. 2.2) для мужчины или женщины при различной мощности тепловыделений;
- построить: температуры тканей (STR_TK.DAT), температуры слоев тканей (STR_GA.DAT), тепловых потерь тканей (STR_Q.DAT), температур кожи (STR_KG.DAT), перепада температур (STR_DT.DAT);
- написать выводы по влиянию внутренних тепловыделений на теплофизические параметры организма при охлаждении в воде.

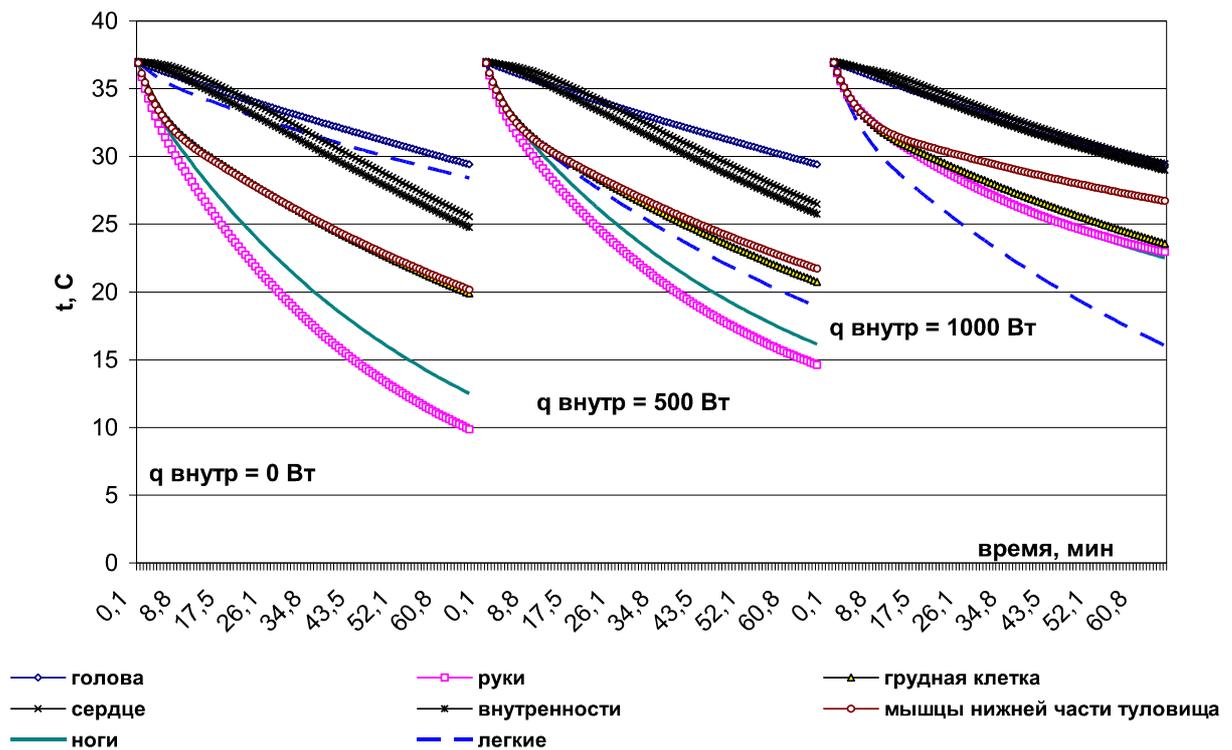


Рис. 2.2. Влияние мощности внутренних источников тепла на среднemasовые температуры «ядра» расчетных элементов

Таблица 2.2

Таблица исходных данных к работе

№	Пол		Возраст	Температура воды	Мощность внутренних источников				
	мужчин а	женщин а			0 кВт	0,4 кВт	0,8 кВт	1,2 кВт	1,6 кВт
	строка 4	строка 4	строка 5	строка 2	строка 7	строка 7	строка 7	строка 7	строка 7
1	1	2	10	0	0	400	800	1200	1600
2	1	2	20	0	0	400	800	1200	1600
3	1	2	30	0	0	400	800	1200	1600
4	1	2	40	0	0	400	800	1200	1600
5	1	2	50	0	0	400	800	1200	1600



6	1	2	10	0	0	400	800	1200	1600
7	1	2	20	0	0	400	800	1200	1600
8	1	2	30	0	0	400	800	1200	1600
9	1	2	40	0	0	400	800	1200	1600
10	1	2	50	0	0	400	800	1200	1600

Требования к выводам:

- установить влияние внутренних тепловыделений на температуры слоев «оболочки» и «ядра» мышечной ткани;
- выполнить качественное и количественное сравнение изменения температур тканей, тепловых потерь тканей в водной среде при увеличении внутренних тепловыделений;
- оценить безопасное время нахождения в воде с ростом тепловыделений.

Лабораторная работа № 3. Влияние температуры воды

Цель работы – исследовать влияние температуры воды на теплофизические параметры СТС при гипотермии.

Задание к работе – сравнить тепловые потери, температуры разных тканей, а также безопасное время нахождения при охлаждении в воде при уменьшении ее температуры.

3.1. Общие положения

Исследование влияния температуры окружающей среды на процесс теплообмена в воде в диапазоне температур 0 °С, 5 °С, 10 °С и 20 °С показывает, что с увеличением температуры среды теплоотдача уменьшается почти в 2 раза (рис. 3.1) и «ядро» остывает медленнее (рис. 3.2). Т.е. увеличение температуры воды приводит к увеличению периода нахождения в воде.

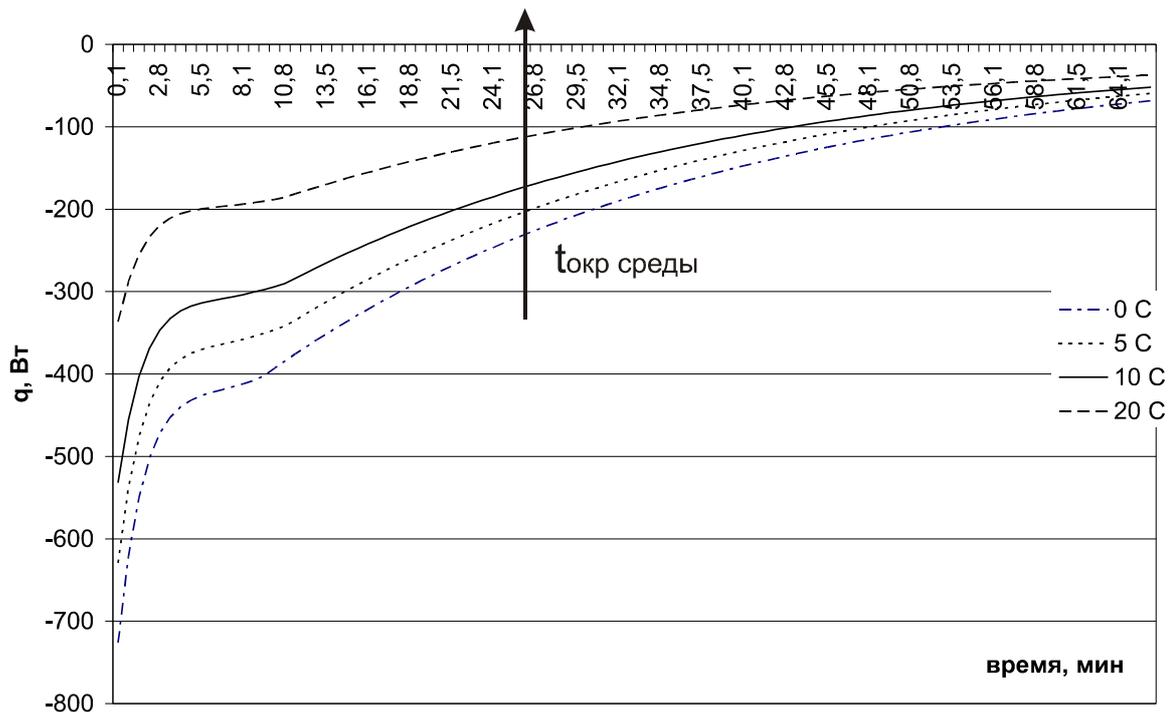


Рис. 3.1. Изменение суммарного теплового потока расчетного элемента в зависимости от температуры воды

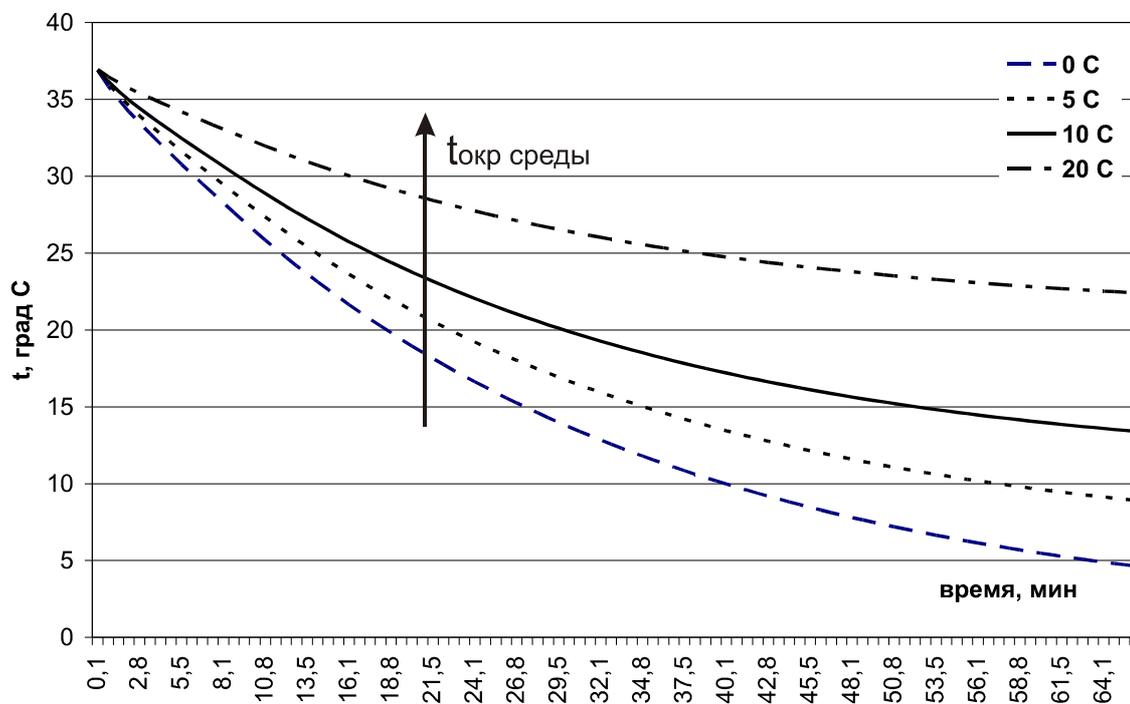


Рис. 3.2. Изменение среднemasовой температуры расчетного элемента в зависимости от температуры воды

3.2. Методические указания



- выполнить расчеты согласно таблице исходных данных (табл. 3.1) для мужчины или женщины при температуре воды $0 \dots 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- построить: температуры тканей (**STR_TK.DAT**), температуры слоев тканей (**STR_GA.DAT**), тепловых потерь тканей (**STR_Q.DAT**), температур кожи (**STR_KG.DAT**), перепада температур (**STR_DT.DAT**);
- написать выводы по влиянию температуры воды на теплофизические параметры организма.



Таблица 3.1

Таблица исходных данных к работе

№	Пол		Возраст	Теплопродукция	Температура воды				
	мужчина	женщина			0 °С	5 °С	10 °С	15 °С	20 °С
	строка 4	строка 4	строка 5	строка 7	строка 2	строка 2	строка 2	строка 2	строка 2
1	1	2	10	0	0	5	10	15	20
2	1	2	20	0	0	5	10	15	20
3	1	2	30	0	0	5	10	15	20
4	1	2	40	0	0	5	10	15	20
5	1	2	50	0	0	5	10	15	20
6	1	2	10	0	0	5	10	15	20
7	1	2	20	0	0	5	10	15	20
8	1	2	30	0	0	5	10	15	20
9	1	2	40	0	0	5	10	15	20
10	1	2	50	0	0	5	10	15	20

Требования к выводам:

- установить скорости охлаждения различных тканей и выделить наиболее опасные при охлаждении ткани, требующие тепловой защиты;
- выполнить качественное и количественное сравнение изменения температур тканей, тепловых потерь тканей в воде при различной температуре;
- оценить безопасное время нахождения в воде.

Лабораторная работа № 4.

Исследование влияния толщины слоя пассивной теплоизоляции (процент жира) на охлаждение в водной среде

Цель работы: Изучить влияние типа конституции в зависимости от толщины слоя пассивной теплоизоляции на теплофизические параметры процесса охлаждения человека в водной среде.

4.1. Общие положения

Признаки, определяющие теплопроводящие свойства оболочки [34]: – оболочка представляет собой трехслойную структуру и образована эпителием, жировой тканью и мышцами (рис. 4.1, а); – наружный ороговевший слой эпителия пронизан холодowymi и тепловыми рецепторами; – рецепторы регистрируют не температуру окружающей среды, а температуру наружного слоя эпителия; – ткани, образующие оболочку, для описания переноса теплоты могут быть представлены как параллельные плоскости; – теплопродукция слоев равномерно распределена в объеме; – жировая клетчатка выполняет теплоизолирующую функцию и не продуцирует теплоты. Теплота q_0 , выделяемая ядром тела и мышечной тканью 1, движется к эпителиальному слою 2 через жировую прослойку 3. Схема изменения температур в слоях показана на рис. 4.1, б.

В условиях теплового комфорта поверхностный слой «оболочки» имеет толщину примерно 10 мм; при охлаждении толщина «оболочки», может увеличиться до 25 мм и соответственно возрастает ее объем. Толщина слоев покровных тканей «оболочки» колеблется в пределах: $20 \geq \ell_m \geq 5$ мм, $15 \geq \ell_{ж} \geq 5$ мм, $2 \geq \ell_{э} \geq 1$ мм. Теплофизические свойства слоев приведены в табл. 4.1.



Таблица 4.1

Теплофизические свойства слоев оболочки

Ткань	Плотность, кг/м ³	Содержание воды, %	Теплоёмкость, Дж/кг·К	Теплопроводность, Вт/м·К	Тепловыделение, Вт/кг
Кожа	1093	53,5 – 72,5	3600	0,389	10,06
Мышца	1041	68,5– 80,3	3458	0,439	6,99
Жировая ткань	916	15 – 20	2250	0,200	–

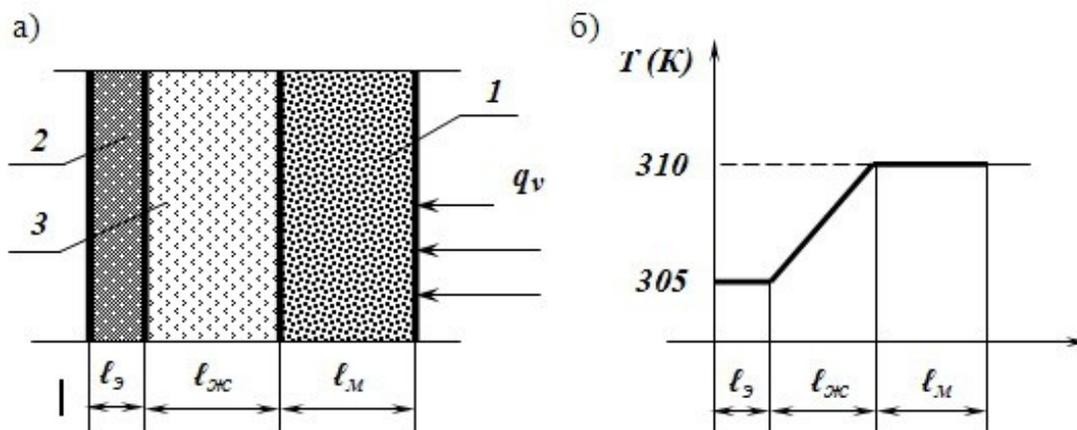


Рис. 4.1. Схематическое представление распределения слоев покровообразующих тканей (а) и нормального распределения температур (б); 1 – мышечная ткань; 2 – эпителиальный слой; 3 – жировая прослойка [34].

Классификация телосложения человека в зависимости от процента жира дана в табл. 4.2. **Для женщин:** 20-29 % - физиологическая норма, обеспечивающая нормально функционирование организма. 18-10% - величины, допустимые при подготовке к соревнованиям, например, если требуется увеличить рельефность мускулатуры. Удерживать такой процент жира дольше месяца для женщин не рекомендуется. **Для мужчин:** 10-20 % - физиологическая норма. 4-9 % - допустимые значения для увеличения рельефности мускулатуры, или при больших нагрузках на выносливость, например, при подготовке к марафону.

Таблица 4.2

Типы телосложения в зависимости от процента жира в организме

	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5	Тип 6	Тип 7	Тип 8	Тип 9
	очень худой	спортивный	очень спортивный	спортивный	здоровый	здоровый с избытком жира	полный	более полный	очень полный
% жира	5...9	10...14	15...19	20...24	25...29	30...34	35...39	40...44	45...50

4.2. Методические указания

Последовательность работы:

- выполнить расчеты согласно вариантам задания (табл. 4.3) для мужчин (5 расчетов) или женщин (5 расчетов) при температуре воды 0 °С;
- построить: температуры тканей (**STR_TK.DAT**), температуры слоев тканей (**STR_GA.DAT**), тепловых потерь тканей (**STR_Q.DAT**), температур кожи (**STR_KG.DAT**), перепада температур (**STR_DT.DAT**);
- написать выводы по влиянию слоя пассивной теплоизоляции (жира) на процесс охлаждения в воде.



Таблица исходных данных к работе

Влияние толщины пассивного слоя теплоизоляции (подкожного слоя жира)

	Пол	возраст	телопродукция	Содержание жира в организме, %				
	Муж- жен	строка 5	строка 7	0	10	20	30	40
	строка 4			строка 17	строка 17	строка 17	строка 17	строка 17
	1	10	0	0	10	20	30	40
	1	20	0	0	10	20	30	40
	1	30	0	0	10	20	30	40
	1	40	0	0	10	20	30	40
	1	50	0	0	10	20	30	40
	2	10	0	0	10	20	30	40
	2	20	0	0	10	20	30	40
	2	30	0	0	10	20	30	40
	2	40	0	0	10	20	30	40
	2	50	0	0	10	20	30	40

Требования к выводам:

- описать влияние процента жира на процесс охлаждения тканей мужского (женского) организма;
- выполнить сравнение степени охлаждения тканей мужского и женского организмов в воде при различном проценте жира.

Лабораторная работа № 5.

Исследование охлаждения человека по индивидуальным параметрам

Цель работы: Изучить влияние типа конституции на теплофизические параметры процесса охлаждения человека при отрицательных температурах воздуха.

5.1. Общие положения

Масса и распределение жировой ткани. Жировая ткань распределена в приповерхностном слое кожи и имеет различия в зависимости от генов, пола, возраста, уровня активности и пищевых пристрастий. Новорожденные и маленькие дети имеют равномерный подкожный слой жира. По мере взросления ребенка жировой слой в некоторых областях тела утончается, но сохраняется и утолщается в других местах в зависимости от предрасположенности. Эти участки различаются для разных полов и в значительной степени ответственны за характерные различия контуров мужской и женской фигуры [17, 24, 33].

Как правило, женщины имеют пропорционально более высокий процент жировой ткани от веса тела, чем мужчины, что проявляется более толстым слоем подкожно-жировой клетчатки (рис. 5.1). Типичным для женщин является отложение жира в области верхней трети наружной и внутренней поверхности бедер, ягодиц, нижней части туловища. Напротив, мужчины склонны накапливать жир равномерно по всему туловищу, что проявляется увеличением живота, утолщением торса, шеи, затылка [33].

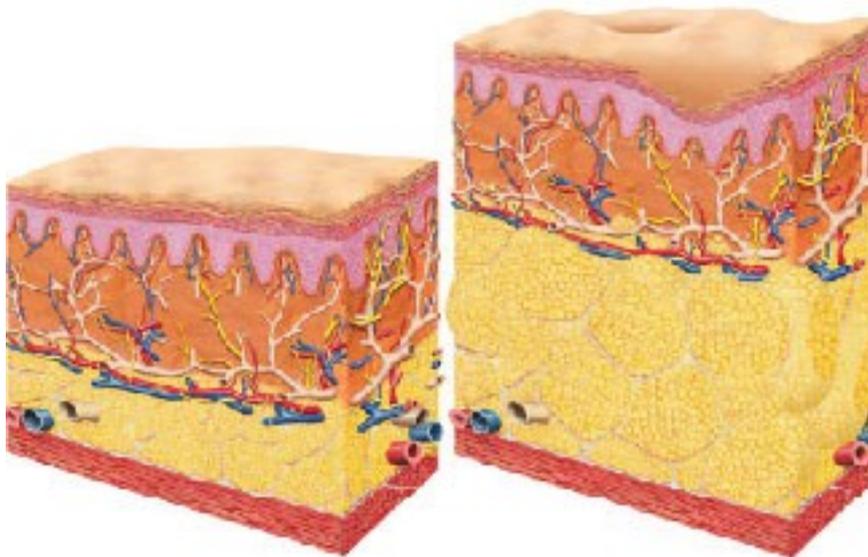


Рис. 5.1. Поверхностный слой тканей тела мужчины (слева) и женщины (справа) [33]

После 75 лет у человека происходит практически полная потеря подкожной жировой ткани, при этом соотношение между подкожным и брюшным жиром изменяется в пользу последнего. Однако, несмотря на снижение массы жировой ткани, общее количество жира в организме с годами не только не изменяется, но даже повышается. Это происходит вследствие перераспределения жира в нежировые ткани (печень, костный мозг, скелетную мышцу и др.).

Жировые отложения распределяется в нашем организме неравномерно. Выделяют два типа отложения жира: центральный и периферический. При центральном типе жировые отложения формируются главным образом в брюшной полости. При периферическом типе жир откладывается больше под кожей. Оказалось, что эти два типа жировых отложений неодинаковы по своему значению. При центральном типе вокруг внутренних органов откладывается больше бурого жира, метаболически активного. При периферическом ожирении под кожей откладывается метаболически неактивный белый жир. Масса жировой ткани равна 14 % массы (по некоторым данным – 17–19 % массы) у мужчин и 26 % у женщин. Подкожная жировая ткань составляет ~ 11 % массы у мужчин и ~ 24 % у женщин. У мужчин подкожная жировая ткань – это половина или больше всей жировой ткани, у женщин, средний возраст которых 23 года, – около 72%. Это количество с возрастом уменьшается и к 60 годам достигает 60 %. Обычно с годами увеличивается количество внутреннего жира.

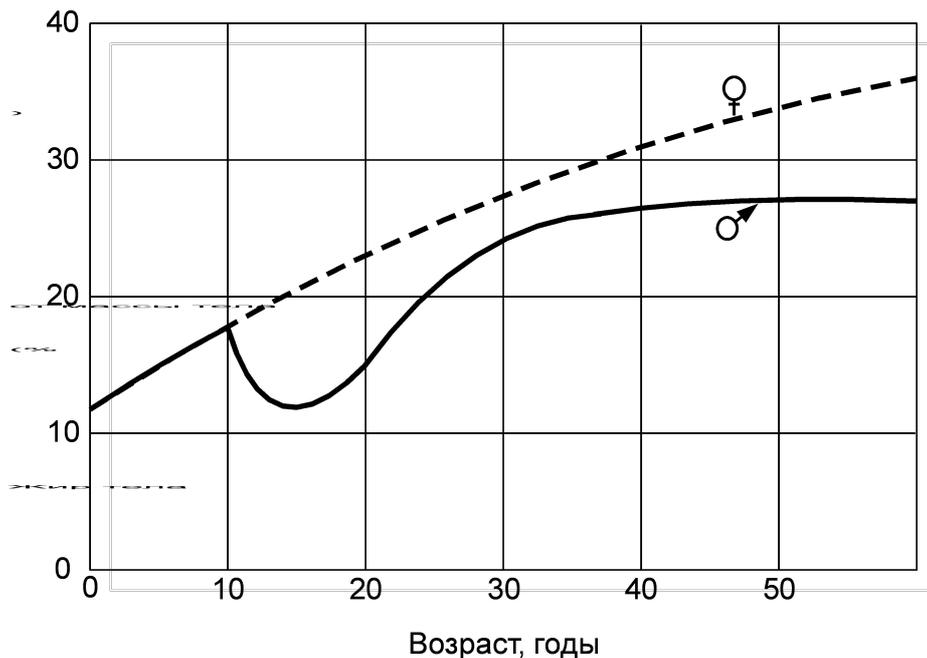


Рис. 5.2. Изменение содержания жира в организме в зависимости от возраста и пола.

5.2. Методические указания

Последовательность работы:

- выполнить измерение индивидуальных параметров собственного тела согласно табл. 5.1;
- выполнить расчеты согласно вариантам задания: а) для параметров нормы (мужчина (или женщина) 20 лет) при температуре воздуха $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 5.2); б) для индивидуальных параметров при температурах воздуха $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 5.3);
- построить: температуры тканей (**STR_TK.DAT**), температуры слоев тканей (**STR_GA.DAT**), тепловых потерь тканей (**STR_Q.DAT**), температур кожи (**STR_KG.DAT**), перепада температур (**STR_DT.DAT**);
- написать выводы о влиянии типа конституции на процесс охлаждения при отрицательных температурах воздуха, сравнить с нормой.



Таблица 5.1

Измеряемые индивидуальные параметры

строка	Обозначение	Измеряемый параметр	Измеряемый параметр	размерность	значение
12	EH	рост	rost	sm	
13	EG	вес	ves	kg	
14	ED1	окр-ть шеи	okrugn.shei	sm	
15	ED2	окр-ть талии	okrugn.talii	sm	
16	ED3	окр-ть бедер	okrugn.beder	sm	
17	EGIR	счетчик жира	shethik gira	%	
18	ED4	окр-ть головы	okrugn.golovy	sm	
19	ED5	окр-ть грудной клетки	okrugn.gr-kletri	sm	
20	ED6	окр-ть руки	okrugn.ruki	sm	
21	ED7	окр-ть ноги	okrugn.nogi	sm	

Таблица 5.2

Таблица исходных данных к работе для нормы

№	Окружающая среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик % жира	Температура окружающей среды, °С
	строка 1	строка 4	строка 5	строка 8	строка 17	Строка 2
1	2	1	20	8	2	-20
2	2	2	20	8	2	-20

Таблица 5.3

Таблица исходных данных к работе для индивидуальных параметров

№	Окружающая среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик % жира	Индивидуальные параметры	Температура окружающей среды, °С		
	строка 1	строка 4	строка 5	строка 8	строка 17	строки 12...16 и строки 18...21	строка 2		
1	2	1	20	8	1	измерения	-20	-30	-40
2	2	2	20	8	1	измерения	-20	-30	-40

Требования к выводам:

- описать процесс охлаждения тканей мужского (женского) организма при отрицательных температурах воздуха;
- выполнить сравнение индивидуальных параметров с нормой и сделать вывод о влиянии типа конституции на процесс охлаждения.



Лабораторная работа № 6. Исследование процесса охлаждения в криосауне (криобассейне) по индивидуальным параметрам человека

Цель работы: Изучить влияние типа конституции на теплофизические параметры процесса охлаждения человека при отрицательных температурах воздуха в криосауне и нулевой для воды.

6.1. Общие положения

Криотерапия (лечение холодом) – это лечебная и общеоздоровительная процедура, основанная на кратковременном контакте поверхности кожи с охлажденным до $-150 \dots -130$ °С (градусов Цельсия) газом [34]. Во время процедуры криотерапии пациента на короткое время (2-3 минуты) погружают по плечи в криокабину (криосауну) в слой охлажденного газа – смесь паров жидкого азота и воздуха. В ходе процедуры охлаждается только тонкий поверхностный слой кожи, в котором расположены тепловые рецепторы, а организм не успевает переохладиться, пациент не испытывает дискомфорта.

Кратковременное воздействие крайне низких температур воспринимается организмом человека, как непонятная угроза. Значит, нужно быть готовым в любой момент эту угрозу отразить. Изменение внешней среды мобилизует защитные силы человека. Улучшается трофика тканей, кровь энергично приливает к коже и мышцам, улучшается выработка защитных антител; происходят стимуляция нервной системы, снижение болевых ощущений, и многое еще. Резко повышается обмен веществ, происходит мощный выброс эндорфинов – так называемых «гормонов счастья».

Лечебное действие оказывается на весь организм, в том числе и на органы, не подвергавшиеся охлаждению, но его интенсивность и длительность напрямую связаны с площадью контакта между телом и охлаждающим газом. Так как для охлаждения поверхности кожи до температуры ниже $+2$ °С необходимо не менее 90 секунд, время лечебного воздействия должно составлять от 2 до 3 минут. Немаловажным фактором во время криотерапии служат личные ощущения пациента. Прислушайтесь к своему организму, он подскажет, как долго можно находиться в криосауне. Так, например, хорошо проведенная процедура дает равномерное ощущение холода по всему телу. Через 5-10 минут после сеанса должно появиться чувство «жжения» в области лопаток – это свидетельство достаточного охлаждения организма. После правильной криотерапии кожа тела имеет красный оттенок, а на лице заметен румянец. Кроме того, спустя 10 минут по телу разливается приятное тепло. Можно добавить, что в течение первых 3 часов после криопроцедуры доминирует активность, энергичность, а спустя 4 часа наступает торможение функций организма, хочется спать, и сон наступает глубокий и спокойный. Это важно для тех, кто страдает бессонницей. Профессиональным спортсменам знакомо чувство работы «через боль» – поднятие веса, растяжки в гимнастике или боевых искусствах ... Но, может быть, эффект от тренировок будет выше, если с помощью криопроцедуры повысить болевой порог? Многие в этом уже убедились на собственном опыте.

В рамках проверки достоверности проводился численный расчет времени нахождения в криосауне при температуре -130 °С (рис. 6.1). Линиями показаны разные части тела. Критерием для определения времени нахождения в криосауне служит остывание кожного покрова до 0 °С. Расчетное время составило 3-4 минуты, что соответствует известным экспериментальным данным и принятым нормам посещения криосауны. В качестве проверки достоверности выполнено сравнение результатов предложенной модели расчета системы термостабилизации человека с численным

экспериментом на модели оболочки человеческого тела [34]. Криотерапия сравнивалась с купанием в воде с температурой +12 °С и 0 °С. Температура газа составляла -130 °С. Общая продолжительность процедуры составляет 7 мин (рис. 6.2). Результаты модельных исследований качественно согласуются друг с другом, однако количественно наблюдается некоторое расхождение. Модель автора [34] представляет собой один многослойный цилиндр, а предложенная модель [22, 34] – систему многослойных цилиндров с разным диаметром. Поэтому количественные различия можно объяснить тем, что диаметры цилиндров в численных экспериментах различаются.

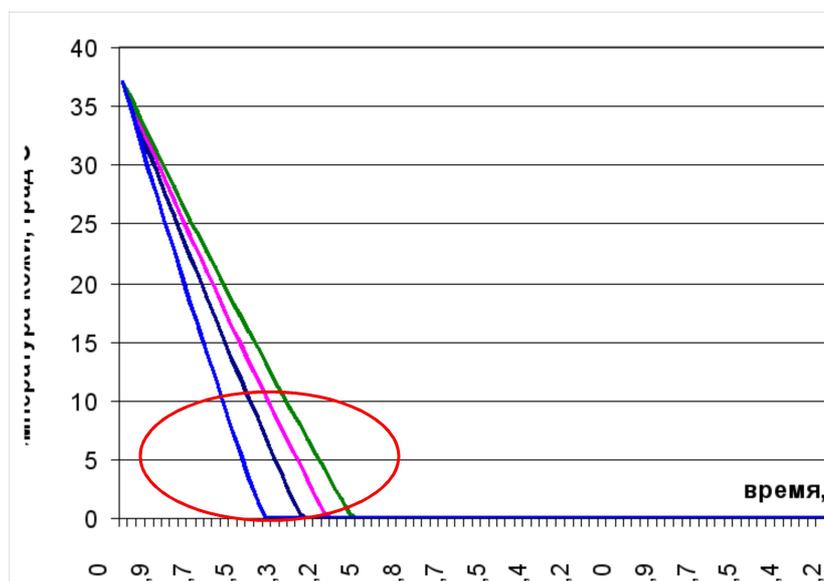


Рис. 6.1. Расчет времени нахождения в криосауне при температуре -130 °С

6.2. Методические указания

Последовательность работы:

- выполнить измерение индивидуальных параметров собственного тела согласно табл. 5.1;
- выполнить расчеты согласно вариантам задания: а) для параметров нормы (мужчина (или женщина) 20 лет) при температуре воды 0 °С и воздуха -140 °С (табл. 6.1); б). для индивидуальных параметров при температурах воды 0 °С и воздуха -140 °С (табл. 6.2);
- построить: температуры тканей (STR_TK.DAT), температуры слоев тканей (STR_GA.DAT), тепловых потерь тканей (STR_Q.DAT), температур кожи (STR_KG.DAT), перепада температур (STR_DT.DAT);
- написать выводы о влиянии типа конституции на процесс охлаждения при отрицательных температурах воздуха, сравнить с нормой.

Таблица 6.1

Таблица исходных данных к работе для нормы

	Окружающая среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик % жира	Температура окружающей среды, °С
№	строка 1	строка 4	строка 5	строка 8	строка 17	Строка 2
1	2	1 (либо 2)	20	4	2	0
2	1	1 (либо 2)	20	1	2	-140

Таблица 6.2

Таблица исходных данных к работе для индивидуальных параметров

№	Окружающая среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик % жира	Индивидуальные параметры	Температура окружающей среды, °С
	строка 1	строка 4	строка 5	строка 8	строка 17	строки 12... 16 и строки 18... 21	строка 2
1	2	1 (либо 2)	20	4	1	измерения	0
2	1	2 (либо 2)	20	8	1	измерения	-140

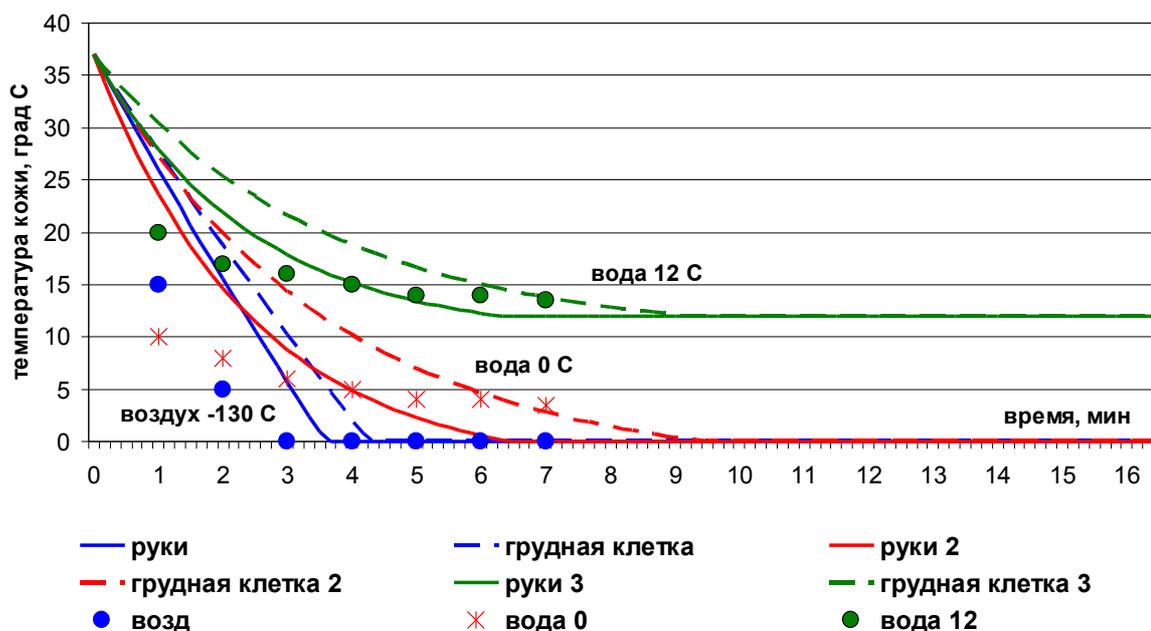


Рис. 6.2. Сравнение результатов предложенной модели системы термостабилизации человека (прямые и пунктирные линии) с численным экспериментом на модели оболочки человеческого тела Баранова А. Ю. [34] (точки)



Требования к выводам:

- выполнить сравнение процессов охлаждения тканей мужского (женского) организма к криосауне и криобассейне;
- оценить время безопасного нахождения и степень опасности криосауны и криобассейна;
- выполнить сравнение индивидуальных параметров с нормой и сделать вывод о влиянии типа конституции на процесс охлаждения.

Лабораторная работа № 7.

Исследование влияния термического сопротивления защитной одежды на охлаждение в водной и воздушной среде

Цель работы: Изучить влияние термического сопротивления защитной одежды (clo) на теплофизические параметры процесса охлаждения человека при отрицательных температурах воздуха и нулевой для воды.

7.1. Общие положения

При расчете и проектировании защитной одежды используют понятие термического сопротивления $R = \delta/\lambda$ [$\text{м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$]. В специализированной литературе принята универсальная единица для выражения теплозащитных свойств одежды, получившая название clo и имеющая значение $1 clo = 0,21 \text{ м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$ [14, 20-21].

В работе исследуется влияние термического сопротивления внешней теплоизоляции в диапазоне $clo = 0 \dots 7$ на процесс охлаждения в водной среде (рис. 7.1). Установлено, что рост термического сопротивления приводит к уменьшению теплопотерь расчетных элементов системы в окружающую среду, а также к уменьшению темпа охлаждения среднemasсовых температур и температур на границах слоев «оболочки» и «ядра». Данные изменения связаны с уменьшением в 4 ... 5 раз суммарного теплового потока в окружающую среду, происходящего за счет резкого уменьшения конвективной составляющей.

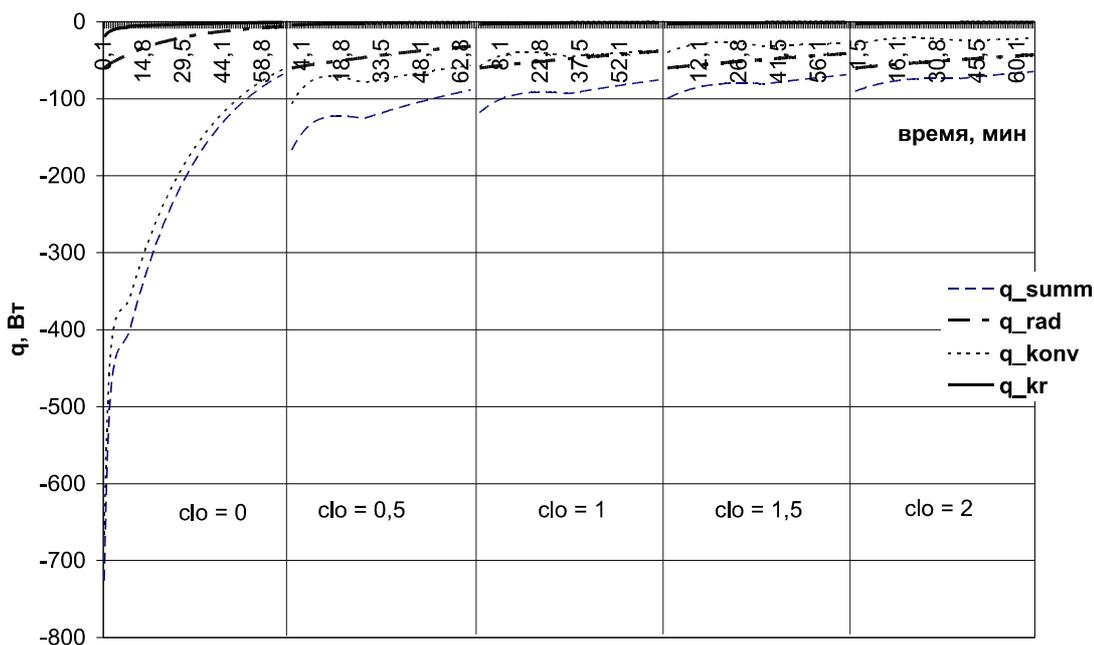


Рис. 7.1. Изменение суммарного теплового потока и его составляющих в зависимости от термического сопротивления (clo) внешней теплоизоляции (одежды)

При этом разные расчетные элементы остывают с разной скоростью. Быстрее всего остывают руки и ноги, медленнее – туловище и внутренние органы. Для компенсации этого эффекта необходим такой костюм, который обладает разным термическим сопротивлением для разных частей тела.

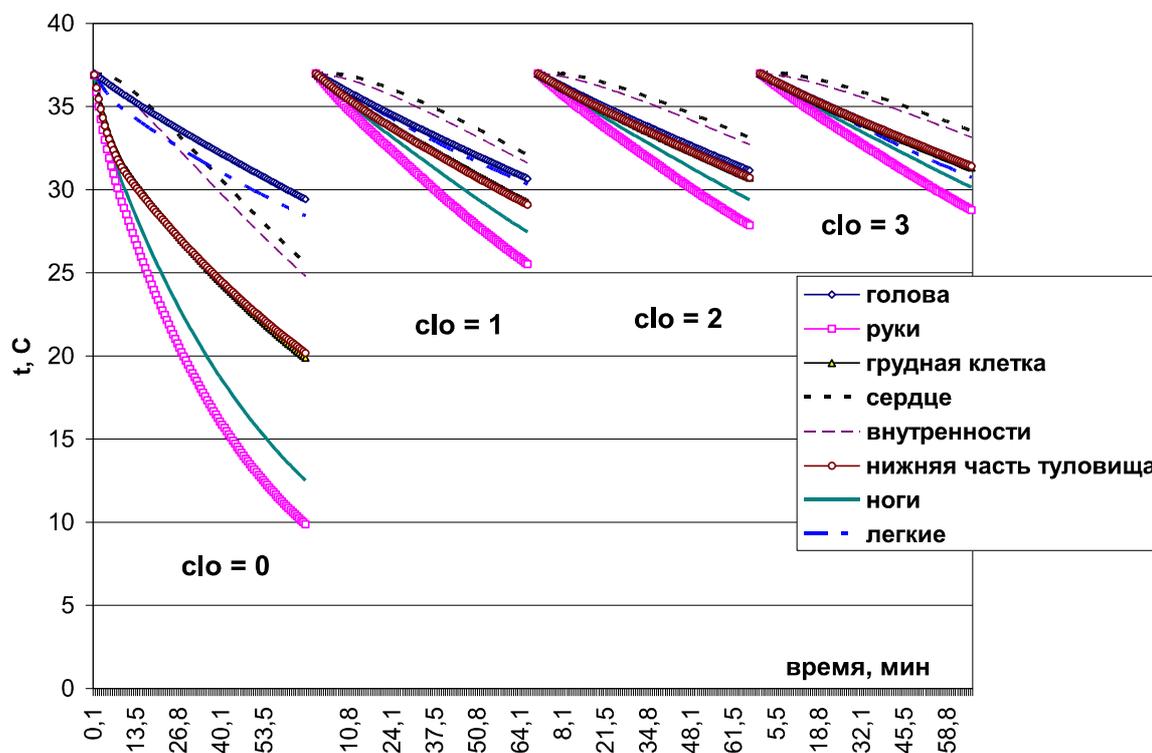




Рис. 7.2. Изменение среднемассовых температур «ядра» расчетных элементов в зависимости от значений термического сопротивления внешней теплоизоляции.

7.2. Методические указания

Последовательность работы:

- выполнить расчеты согласно вариантам задания (табл. 7.1, 7.2): а) для параметров нормы (мужчина (женщина) 20 лет) при температуре воды 0 °С; б) для параметров нормы (мужчина (женщина) 20 лет) при температуре воздуха -140 °С; в) для индивидуальных параметров при температуре воды 0 °С; г) для индивидуальных параметров при температуре воздуха -140 °С;

- построить: температуры тканей (**STR_TK.DAT**), температуры слоев тканей (**STR_GA.DAT**), тепловых потерь тканей (**STR_Q.DAT**), температур кожи (**STR_KG.DAT**), перепада температур (**STR_DT.DAT**);

- написать выводы о влиянии типа конституции на процесс охлаждения при отрицательных температурах воздуха, сравнить с нормой;

- выполнить сравнение процессов охлаждения в криосауне и криобассейне, отметить достоинства и недостатки каждого метода.



Таблица исходных данных: для индивидуальных параметров

№	Окружающая среда	Пол	Возраст	Температура окружающей среды, °С	Шаг времени	Счетчик % жира	Индивидуальные параметры	Термическое сопротивление одежды, clo
	строка 1	строка 4	строка 5	строка 2	строка 8	строка 17	строки 12...16 и строки 18...21	строка 22
1	2	1	20	-40	8	1	измерения	1 ... 7
2	1	1	20	-40	8	1	измерения	1 ... 7

Таблица 7.1

Требования к выводам:

- описать процесс охлаждения тканей мужского (женского) организма в воде при различных значениях термического сопротивления защитной одежды;
- оценить время безопасного нахождения в воде при отсутствии и наличии средств тепловой защиты организма.