

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА СИСТЕМУ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Методические указания к лабораторным работам, курсовому  
и дипломному проектированию для студентов IV-VI курсов ФЛА  
дневного отделения (специальность 160202 и программа  
магистерской подготовки 160100)

УДК 629.7.048.7(076.5)  
И 889

Составители:

*А.В. Чичиндаев*, д-р техн. наук, доцент,  
*И.В. Хромова*, ассистент

Рецензенты:

*Ю.В. Дьяченко*, д-р техн. наук, доцент,  
*В.С. Пичулин*, канд. техн. наук, доцент кафедры систем  
жизнеобеспечения Московского авиационного института

Работа подготовлена на кафедре технической теплофизики

Рассмотрены специальные вопросы, учитываемые при проектировании систем жизнеобеспечения в области численного моделирования и исследования воздействия на человека температуры окружающей среды. Описаны механизмы работы системы терморегуляции в случае гипотермии. Приведены алгоритм, критерии и методика выполнения лабораторных и курсовых работ по исследованию влияния температуры на человека. Описан пакет программ для выполнения работ, а также содержатся необходимые справочные материалы и исходные данные для проведения работ.

Материал является базовым для лабораторных работ, курсовой работы по предметам «Системы обеспечения жизнедеятельности», «Компьютерное моделирование физических процессов» для студентов IV–VI курсов специальности 160202; базовым для курсов «Биофизика процессов жизнедеятельности», «Моделирование процессов жизнедеятельности и термостабилизации» для магистров V–VI курсов специальности 160100; а также вспомогательным при выполнении спецчасти дипломных проектов и работ для студентов специальности 160202 ФЛА.

© Новосибирский государственный  
технический университет, 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	4
<b>Особенности гемодинамической терморегуляции. Влияние гипотермии на систему термостабилизации человека</b> .....	5
Лабораторная работа № 1. <b>Сравнение теплообмена в воде и воздухе</b> .....	9
1.1. Общие положения.....	9
1.2. Методические указания.....	12
Лабораторная работа № 2. <b>Влияние мощности внутренних источников тепла</b> .....	13
2.1. Общие положения.....	13
2.2. Методические указания.....	16
Лабораторная работа № 3. <b>Влияние температуры воды</b> .....	17
3.1. Общие положения.....	17
3.2. Методические указания.....	18
Лабораторная работа № 4. <b>Влияние толщины пассивного слоя теплоизоляции (подкожного слоя жира) на охлаждение в водной среде</b> .....	19
4.1. Общие положения.....	19
4.2. Методические указания.....	21
Лабораторная работа № 5. <b>Влияние индивидуальных параметров человека на процесс охлаждения</b> .....	22
5.1. Общие положения.....	23
5.2. Методические указания.....	25
Лабораторная работа № 6. <b>Влияние индивидуальных параметров человека на процесс охлаждения в криосауне (криобассейне)</b> .....	26
6.1. Общие положения.....	26
6.2. Методические указания.....	29
Лабораторная работа № 7. <b>Влияние термического сопротивления защитной одежды (clo) на охлаждение в водной и воздушной средах</b> .....	30
7.1. Общие положения.....	30
7.2. Методические указания.....	32
<b>Литература</b> .....	34
<b>Приложение. Инструкция по работе с программой</b> .....	37

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Обеспечение теплового комфорта в рамках системы человек–окружающая среда, в частности защита от переохлаждения, – одна из актуальных проблем в области разработки систем жизнеобеспечения летательных аппаратов. Названная проблема возникает при аварийном отключении систем кондиционирования в гермокабинах летательных аппаратов, приземлении экипажа в условиях зимнего периода или приводнении, в ходе тренировочных работ в гидробассейне, а также при разработке систем кондиционирования для наземных транспортных средств и тепловой защиты гидрокостюмов. Экспериментальные исследования в таком широком диапазоне параметров окружающей среды по фазовому состоянию, температуре и давлению крайне трудоемки и часто сопряжены с опасностью для здоровья и жизни его участников. Одним из вариантов решения данной задачи является разработка компьютерных моделей процессов теплообмена в системе человек–окружающая среда, позволяющих проводить широкий комплекс исследований без экспериментов над людьми [3, 8, 23].

В настоящей работе дается описание методики работы с программой по моделированию и исследованию воздействия на человека низких температур в воздушной и водной среде. Программа, разработанная на кафедре технической теплофизики, обобщает многолетние научные исследования авторов [6, 7, 22, 25–32]. Подробное описание методики расчета и алгоритма программы приведено в [32]. Целью настоящей работы является формирование представлений об особенностях работы системы термостабилизации человека, а также способов тепловой защиты от переохлаждения с помощью цикла исследований по воздействию факторов внешней среды на теплофизические параметры человека в условиях низких температур.

## ОСОБЕННОСТИ ГЕМОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ. ВЛИЯНИЕ ГИПОТЕРМИИ НА СИСТЕМУ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕКА\*

**Гемодинамическая терморегуляция** осуществляется за счет изменения интенсивности кровообращения, заключается в регулировании количества тепла, переносимого кровью от внутренних органов к поверхности кожи и далее в окружающую среду. При этом организм человека условно можно разделить на две зоны: «оболочку» (периферические ткани организма: кожа, подкожная клетчатка, поверхностные мышцы туловища и мышцы конечностей) и «ядро». «Оболочка» имеет возможность менять свою «толщину» от нуля до двух сантиметров за счет изменения просвета сосудистого русла артериол в зависимости от «показаний» холодовых или тепловых рецепторов кожи [10, 17–19].

*Терморегуляция «оболочки».* В комфортном и близком к нему состояниях температура «оболочки» незначительно отклоняется от 37 °С. В случае охлаждения «оболочка» уменьшает свою «толщину» и кровоснабжение, провоцируя еще больше охлаждение. В случае нагрева «оболочка» увеличивает свою толщину и кровоснабжение, провоцируя еще больший нагрев. Таким образом, «оболочка» ведет себя как «поверхностный» «защитный экран» с регулируемым термическим сопротивлением. Теплоизолирующие свойства «оболочки» при этом изменяются в широком пределе и зависят от трех факторов. Во-первых, от *толщины подкожного жирового слоя*: чем она больше, тем теплоизоляционные свойства выше, в особенности с падением температуры. Во-вторых, от *кровенаполнения «оболочки»*: чем оно больше, тем ниже ее теплоизолирующие свойства, так как теплопроводность крови существенно ниже теплопроводности жира. В-третьих, от *места распо-*

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-08-00321.

*ложения ткани:* в туловище доля теплового сопротивления «оболочки» ниже (за счет преобладания кондуктивного теплового потока между тканями); в конечностях, наоборот, – выше (за счет преобладания переноса тепла кровью).

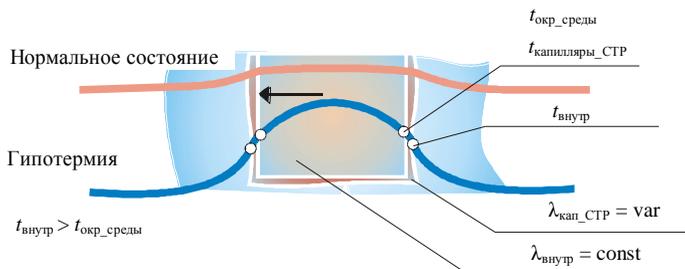
*Терморегуляция «ядра».* В комфортных состояниях температура «ядра» постоянна и равна 37 °С. В случае охлаждения «ядро», увеличивая теплопродукцию и кровоснабжение, повышает свою температуру. В случае нагрева «ядро», уменьшая теплопродукцию и кровоснабжение, снижает свою температуру. То есть ведет себя как «внутренний» источник или сток тепла.

В условиях сравнительно высокой температуры венозная кровь возвращается через поверхностно расположенные вены, а при низкой температуре – через глубокие венозные сплетения, окружающие центральную артерию. «Противоточный» рекуперативный теплообменник создает условия для обмена теплом между артериальной и холодной венозной кровью, не позволяя ей резко охлаждаться.

**Гипотермией** называют переохлаждение организма человека, сопровождающееся снижением ректальной температуры ниже физиологически нормальной (см. рисунок). В случае гипотермии система терморегуляции (СТР) работает следующим образом: происходит повышение уровня метаболических процессов (внутренних тепловыделений); сужаются кровеносные сосуды под кожей с «выдавливанием» крови во внутренние слои, что предотвращает её «переохлаждение»; за счет уменьшения обогрева внешних слоев организма снижается их температура; за счет снижения температуры кожи сокращается сброс тепла в окружающую среду (у земноводных – замедление метаболических процессов до уровня температуры окружающей среды) [1, 2, 4, 5, 9, 11–13, 15, 16].

Переохлаждение на современных ЛА встречается крайне редко и связано с возникновением нештатных ситуаций. Во-первых, при отказе систем терморегулирования (ввод в строй станции «Салют-6», замерзшей в результате обесточивания СЖО). Во-вторых, при аварийных приземлениях или приводнениях зимой в высоких широтах. Значительные переохлаждения также недопустимы, поскольку сопровождаются постепенным снижением работоспособности вследствие вегетативных и мышечных расстройств вплоть до гибели человека.

*Общая гипотермия.* В зависимости от тяжести различают три ее фазы.



Распределение температур при гипотермии

*Первая фаза (зона компенсируемой тепловой нагрузки).* Температура среды выше  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ : по мере ее снижения теплопотери с поверхности кожи и выдыхаемым воздухом увеличиваются. Система термостабилизации (СТС) организма сохраняет тепловой баланс за счет сужения кровеносных сосудов на поверхности тела и резкого сброса температуры кожи (человек становится словно земноводным). В результате происходит резкое сокращение отвода тепла от организма. Уровень метаболических процессов во внутренних слоях тела возрастает и позволяет сохранять тепловое равновесие длительное время. Область носоглотки прогревает вдыхаемый воздух и обеспечивает температуру альвеолярного воздуха, равную температуре тела  $36,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Вторая фаза (зона некомпенсируемой тепловой нагрузки).* Температура среды находится в диапазоне  $T_{\text{окр}} = -20 \dots +5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Резервы системы терморегуляции не способны к длительному сохранению равновесия: отвод тепла в окружающую среду превышает внутренние тепловыделения и начинается переохлаждение организма: ректальная температура понижается  $32 \dots 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в конечностях (около  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) возникает ощущение онемения; вегетативное и мышечное расстройства сопровождаются дрожанием мышц. Носоглотка не справляется с прогревом вдыхаемого воздуха, и он поступает в легкие в охлажденном виде ( $0\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{\text{альв}} < 36,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Переохлажденный воздух приводит к возникновению простудных заболеваний.

*Третья фаза (зона болевых ощущений).* Температура среды ниже  $T_{\text{окр}} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При длительном нахождении наблюдается сильное переохлаждение организма с появлением признаков неконтролируемых действий (от судороги в начальной фазе до засыпания в окончательной). Локальная температура поверхности тела и конечностей становится ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , наступает обморожение тканей. Температура поступающего в альвеолы воздуха может опуститься ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , особенно в

случаях гипервентиляции или при  $t_{\text{атм}} < -25$  °С. Развиваются воспаленные легких или частичное обморожение легочной ткани.

Наиболее опасна гипотермия в случаях приводнения. Если в воздушной среде резервное время нахождения можно увеличить за счет одежды или движения, то в водной среде это невозможно. Высокая теплоемкость воды, а также незначительное термическое сопротивление между кожей и водой выводят тепло из организма за время 10–30 мин.

*Локальная гипотермия.* Дискомфортные ощущения возникают и при локальных изменениях температуры отдельных участков кожного покрова, даже если общее состояние организма близко к комфортному. Тепловые ощущения, в зависимости от температуры кожного покрова, приведены в таблице.

**Тепловые ощущения кожных покровов**

Температура кожного покрова, °С	Участок тела	Тепловые ощущения	Переносимость
45	Любой	Боль	1 мин
42–44	Любой	Жжение	20 мин
40	Любой	Горячо	Несколько часов
26	Кисть	Прохладно	–
15	Кисть	Очень холодно	–
4	Кисть	Потеря чувствительности	–

**Резервная защита организма от острой гипотермии.** Основная защита от гипотермии, предусмотренная в системе термостабилизации, включается через 1–3 мин после попадания в переохлажденную среду (1 мин – в воду, 3 мин – в воздух). До этого момента в организме человека работает «аварийная» система защиты от переохлаждения. В этом случае сигналы от холодных рецепторов трансформируются в импульсное магнитное поле, которое производит «омагничивание» части молекул воды в организме. Это приводит к поляризации молекул воды (из состояния ортовод в паровод), сопровождающейся мгновенным выбросом тепла в зоне действия импульсного магнитного поля. Время действия механизма 50–60 с, затем включается система терморегуляции.

## 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. Связано это с высокими удельными тепловыми нагрузками 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 воздушной среды, поэтому пропорционально возрастают коэффициенты теплоотдачи для абсолютно одинаковых перепадов температур и скоростей среды. Во-вторых, теплоемкость воды в четыре раза выше, чем воздух. Таким образом, вода – более эффективная среда 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.

Задачи исследования влияния гипотермии на теплофизические параметры СТС представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Номер лабораторной работы	Название
1	Сравнение теплообмена в воде и воздухе
2	Влияние мощности внутренних источников тепла
3	Влияние температуры воды

Для выполнения лабораторных работ и оформления результатов необходимо воспользоваться (см. Приложением) Инструкцией 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 ч), по оси Y – температура

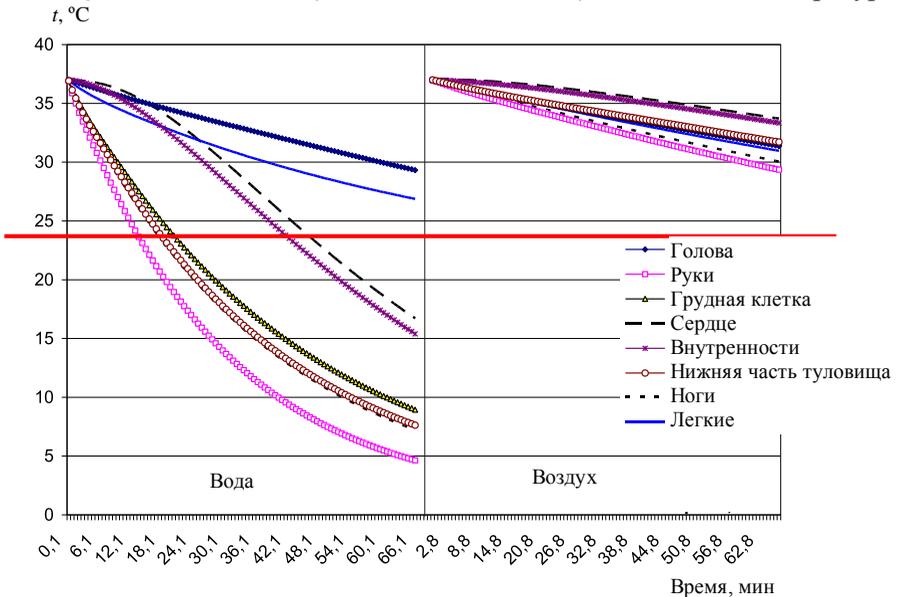


Рис. 1.1. Температуры тканей при охлаждении в воде и воздухе

тканей. Горизонтальной линией показано пороговое значение ректальной температуры – 24° (если температура тела опускается ниже, то на-

ступает летальный исход). Пересечение температуры тканей с этой линией показывает предельное время функционирования ткани, после которого наступают судороги и отказ ее работы. Как видно из рисунка, 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 мин, в воздухе же до порогового значения температуры охлаждаются только руки, что допустимо.

**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, туловище и руки.

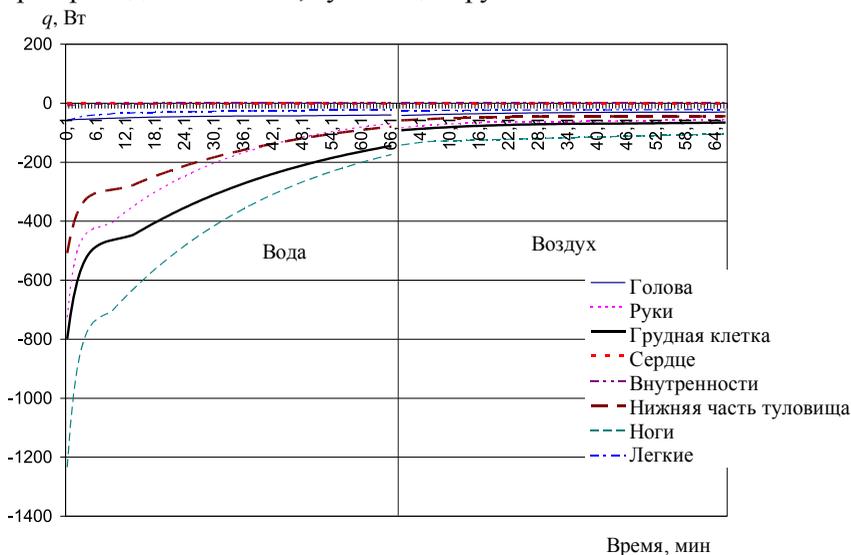


Рис. 1.2. Тепловые потери тканей при охлаждении в воде и воздухе

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, не имеющие теплообмена с окружающей средой. Среднемассовые температуры «ядра» в воде достигают критической температуры 24 °С за 15 мин, 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 графики температур тканей: (STR\_TK.DAT), слоев тканей (STR\_GA.DAT), тепловых потерь тканей (STR\_Q.DAT), кожи (STR\_KG.DAT), а также перепада температур (STR\_DT.DAT);
- написать выводы по влиянию процессов охлаждения в воде и воздухе на теплофизические параметры организма.

Т а б л и ц а 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 средах;
- оценить безопасное время нахождения в воде и воздухе.

## Лабораторная работа № 2

### **ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ВНУТРЕННИХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА**

**Цель работы** – исследовать влияние мощности внутренних источников тепла (телопродукции 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 единиц «бесполезных» тепловыделений. Теплопродукция человека зависит от возраста и пола, питания, мышечной деятельности, температуры окружающей среды, потребления кислорода. Величина тепло-

продукции 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, 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 энергозатраты;  $Q_{\text{тп}}$  – 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.

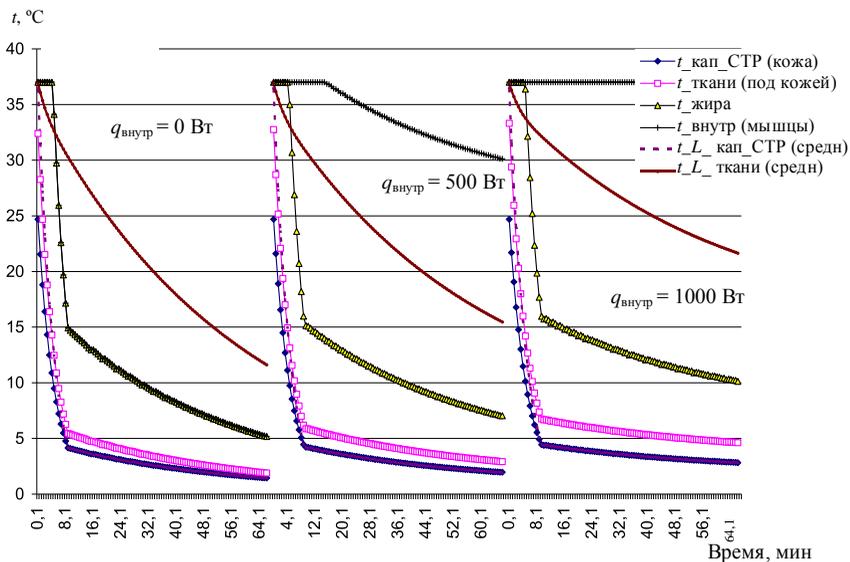


Рис. 2.1. Влияние мощности внутренних источников тепла на температуры на границах слоев расчетного элемента

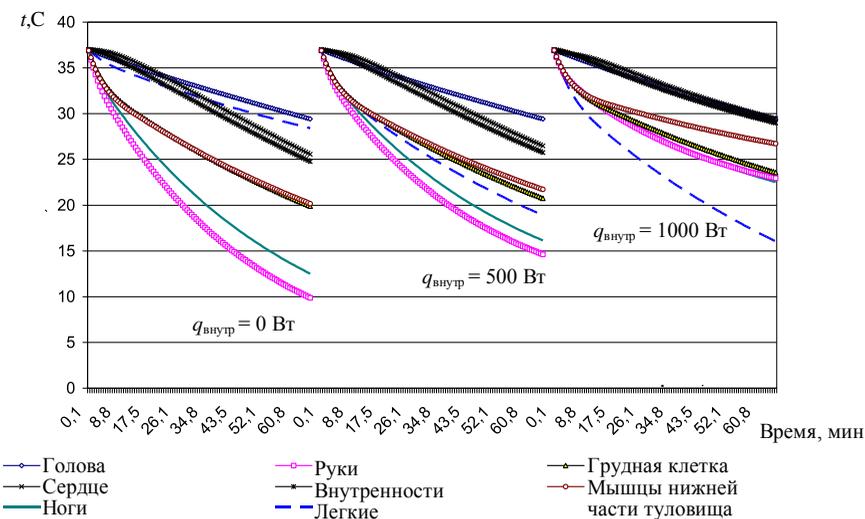


Рис. 2.2. Влияние мощности внутренних источников тепла на среднемассовые температуры «ядра» расчетных элементов

## 2.2. Методические указания

### Последовательность работы:

– выполнить расчеты согласно таблице исходных данных (табл. 2.2) для мужчины или женщины при различной мощности тепловыделений;

– построить графики температур тканей (STR\_TK.DAT слоев тканей (STR\_GA.DAT), тепловых потерь тканей (STR\_Q.DAT), кожи (STR\_KG.DAT), а также перепада температур (STR\_DT.DAT);

– написать выводы по влиянию внутренних тепловыделений на теплофизические параметры организма при охлаждении в воде.

Таблица 2.2

Таблица исходных данных

№	Пол		Возраст	Температура воды	Мощность внутренних источников, кВт				
	мужчина	женщина			строка 5	строка 2	0	0,4	0,8
	строка 4	строка 4	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, 10 и 20 °С показывает, что с увеличением температуры среды теплоотдача уменьшается почти в два раза (рис. 3.1) и «ядро» остывает медленнее (рис. 3.2). Таким образом, рост температуры воды увеличивает период нахождения в воде.

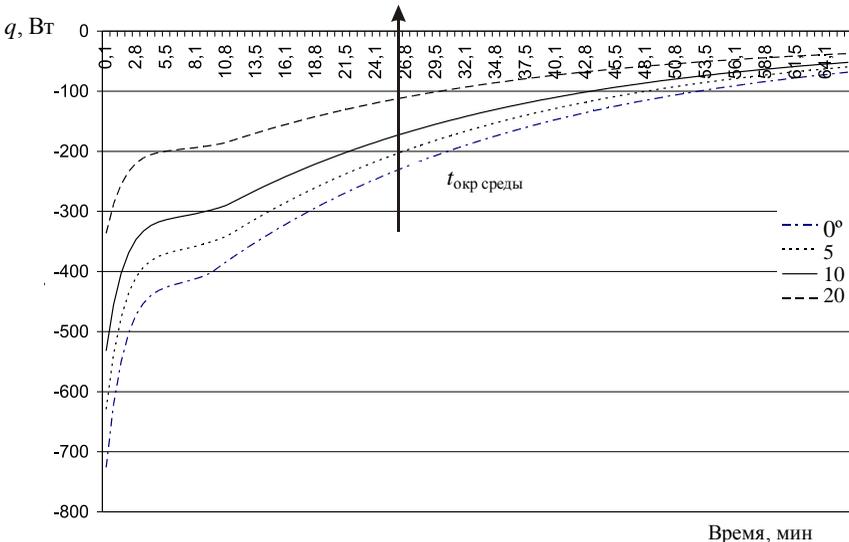


Рис. 3.1. Изменение суммарного теплового потока расчетного элемента в зависимости от температуры воды

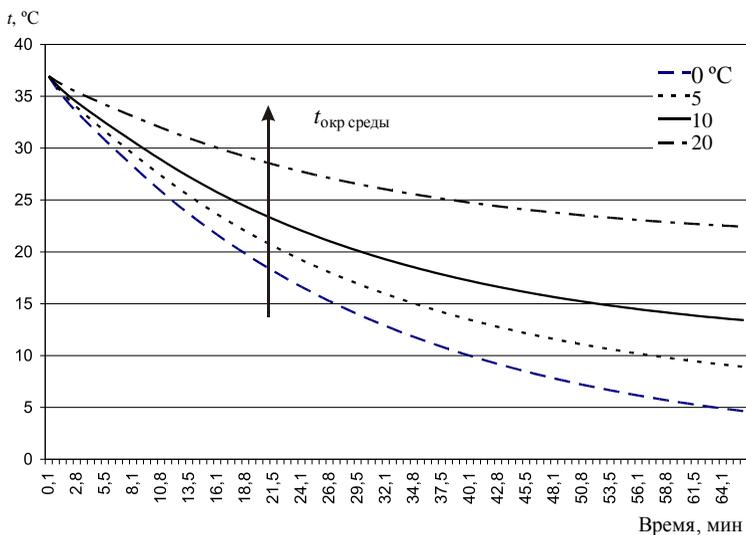


Рис. 3.2. Изменение среднemasовой температуры расчетного элемента в зависимости от температуры воды

### 3.2. Методические указания

- выполнить расчеты согласно таблице исходных данных (табл. 3.1) для мужчины или женщины при температуре воды 0 ... 20 °C;
- построить графики температур тканей (STR\_TK.DAT), слоев тканей (STR\_GA.DAT), тепловых потерь тканей (STR\_Q.DAT), кожи (STR\_KG.DAT), а также 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	Тепло-продукция	Температура воды, °C				
	мужчина	женщина			0	5	10	15	20
	строка 4	строка 4			строка 5	строка 7	стро-ка 2	стро-ка 2	стро-ка 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

№	Пол		Возраст строка 5	Тепло- продукция строка 7	Температура воды, °С				
	мужчина	женщина			0	5	10	15	20
	строка 4	строка 4			стро- ка 2	стро- ка 2	стро- ка 2	стро- ка 2	стро- ка 2
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

## ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ПАССИВНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ (ПОДКОЖНОГО СЛОЯ ЖИРА) НА ОХЛАЖДЕНИЕ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

**Цель работы** – изучить влияние толщины слоя пассивной теплоизоляции на охлаждение водной среде.

### 4.1. Общие положения

Рассмотрим признаки, определяющие теплопроводящие свойства оболочки [34]. Оболочка представляет собой трехслойную структуру и образована эпителием, жировой тканью и мышцами (рис. 4.1, *a*). Наружный ороговевший слой эпителия пронизан холодowymi и тепловыми рецепторами; рецепторы регистрируют температуру не окружающей среды, а наружного слоя эпителия. Ткани, образующие обо-

лочку, 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  $q_v$ , 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:  $20 \geq l_m \geq 5$  мм,  $15 \geq l_{ж} \geq 5$  мм,  $2 \geq l_3 \geq 1$  мм. Теплофизические свойства слоев приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Теплофизические свойства слоев оболочки**

Ткань	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Содержание воды, %	Теплоемкость, 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	–

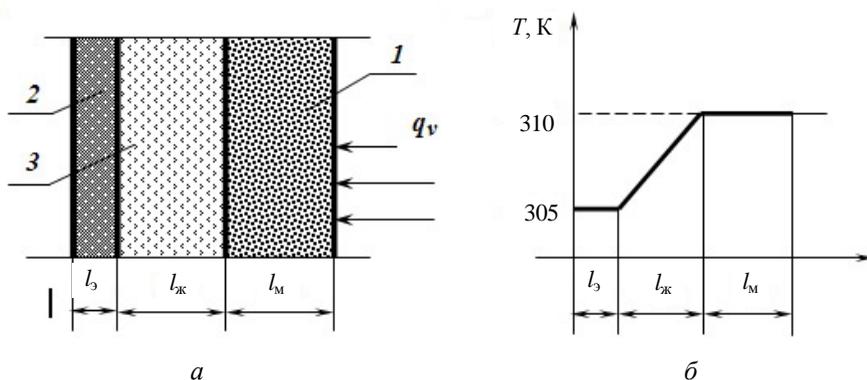


Рис. 4.1. Схематическое представление распределения слоев покровообразующих тканей (а) и нормального распределения температур (б); 1 – мышечная ткань; 2 – эпителиальный слой; 3 – жировая прослойка [34]

В табл. 4.2 дана классификация телосложения человека в зависимости от процента жира.

**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 (очень худой худощавый)	Тип 2 (спортивный идеальный)	Тип 3 (очень спортивный)	Тип 4 (спортивный)	Тип 5 (здоровый, норма)	Тип 6 (здоровый с избытком жира)	Тип 7 (полный)	Тип 8 (более полный)	Тип 9 (очень полный)
Процент 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 графики температур тканей (STR\_TK.DAT), слоев тканей (STR\_GA.DAT), тепловых потерь тканей (STR\_Q.DAT), кожи (STR\_KG.DAT), а также перепад 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	тепло-продукция	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

**ВЛИЯНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ЧЕЛОВЕКА НА ПРОЦЕСС ОХЛАЖДЕНИЯ**

**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. Распределение жировой ткани зависит от генов, пола, возраста, уровня активности и пищевых пристрастий. Подкожный слой жира новорожденных и маленьких детей распределен равномерно. 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 в зависимости от пола и в значительной степени ответственны за характер контуров мужской и женской фигур [17, 24, 33].

Как правило, у женщин процент жировой ткани от веса тела выше, чем у мужчин. У женщин слой подкожно-жировой клетчатки толще (рис. 5.1). При этом типично отложение жира в области верхней трети наружной и внутренней поверхности бедер, ягодиц, нижней части туловища. Напротив, у мужчин жир распределен равномерно по всему туловищу, что проявляется увеличением живота, утолщением торса, шеи, затылка [33].

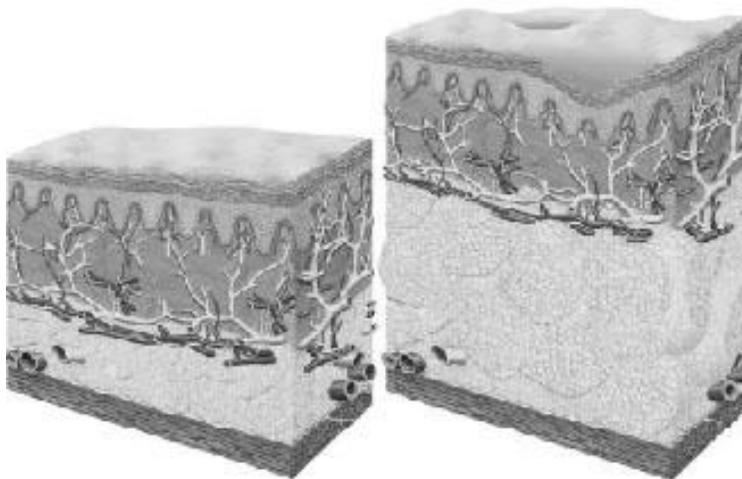


Рис. 5.1. Поверхностный слой тканей тела мужчины (слева) и женщины (справа) [33]

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 распределяются 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.

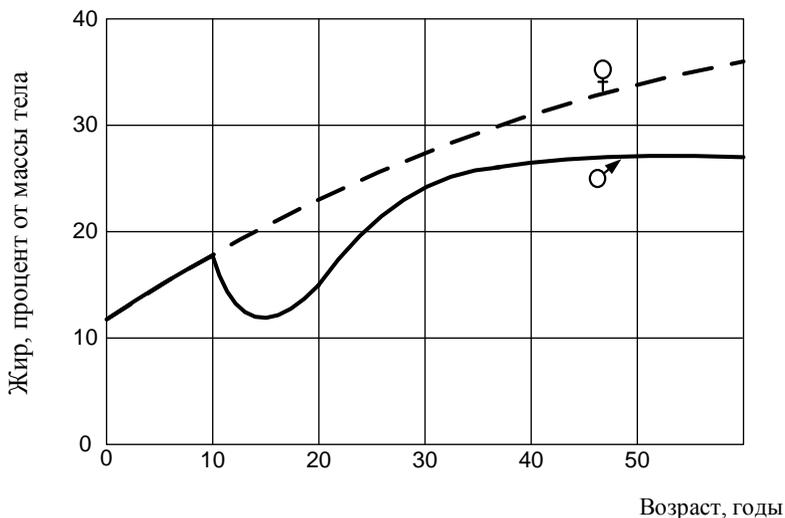


Рис. 5.2. Изменение содержания жира в организме в зависимости от возраста и пола

## 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  $-20^{\circ}\text{C}$  (табл. 5.2); б) для индивидуальных параметров при температурах воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $-40^{\circ}\text{C}$  (табл. 5.3);
- построить графики температур тканей (**STR\_TK.DAT**), слоев тканей (**STR\_GA.DAT**), тепловых потерь тканей (**STR\_Q.DAT**), кожи (**STR\_KG.DAT**), а также перепад 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	Окружность шеи	okrugn.shei	sm	
15	ED2	Окружность талии	okrugn.talii	sm	
16	ED3	Окружность бедер	okrugn.beder	sm	
17	EGIR	Счетчик жира	shethik gira	%	
18	ED4	Окружность головы	okrugn.golovy	sm	
19	ED5	Окружность грудной клетки	okrugn.gr-kletri	sm	
20	ED6	Окружность руки	okrugn.ruki	sm	
21	ED7	Окружность ноги	okrugn.nogi	sm	

Таблица 5.2

### Таблица исходных данных к работе для нормы

№	Среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик процента жира	Температура среды, $^{\circ}\text{C}$
	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 исходных данных к работе для индивидуальных параметров

№	Среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик процента жира	Индивидуальные параметры	Температура среды, °С		
	строка 1	строка 4	строка 5	строка 8	строка 17	строки 12...16 и строки 18...22	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

## ВЛИЯНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕЛОВЕКА НА ПРОЦЕСС ОХЛАЖДЕНИЯ В КРИОСАУНЕ (КРИОБАССЕЙНЕ)

**Цель работы** – изучить влияние типа конституции на процесс охлаждения в криосауне при отрицательных температурах воздуха 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  $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$  газом [34]. Во время процедуры криотерапии пациента на короткое время (2–3 мин) 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, снижаются болевые ощущения и др. 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 с, время лечебного воздействия должно составлять от 2 до 3 мин. Немаловажным фактором во время криотерапии служат личные ощущения. Организм сам подсказывает, как долго можно находиться в криосауне. Так, например, правильно проведенная процедура дает равномерное ощущение холода в всем теле. Через 5–10 мин после сеанса должно появиться чувство «жжения» в области лопаток – это свидетельство достаточного охлаждения организма. После правильно проведенного сеанса криотерапии кожа тела приобретает красный оттенок, на лице появляется румянец. Кроме того, спустя 10 мин по телу разливается приятное тепло. Можно добавить, что в течение первых 3 ч после криопроцедуры доминирует активность, энергичность, а спустя 4 ч наступает торможение функций организма, затем наступает глубокий и спокойный сон.

Профессиональным спортсменам знакомо чувство работы «через боль» – поднятие веса, растяжки в гимнастике или боевых искусствах. Возможно, эффект от тренировок можно будет усилить, если с помощью криопроцедуры повысить болевой порог.

В рамках проверки достоверности результатов рассчитывалось время нахождения в криосауне при температуре –130 °С (рис. 6.1). На рисунке линиями показаны разные части тела. Критерием для определения времени нахождения в криосауне служит остывание кожного покрова до 0 °С. Расчетное время составило 3–4 мин, что соответствует известным экспериментальным данным и принятым нормам посещения криосауны. Результаты предложенной модели расчета системы термостабилизации человека сравнивали 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

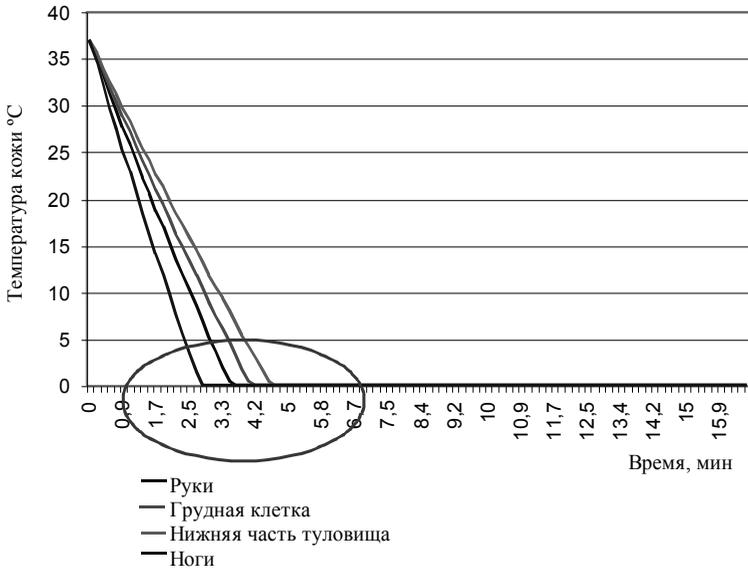


Рис. 6.1. Расчет времени нахождения в криосауне при температуре  $-130^{\circ}\text{C}$

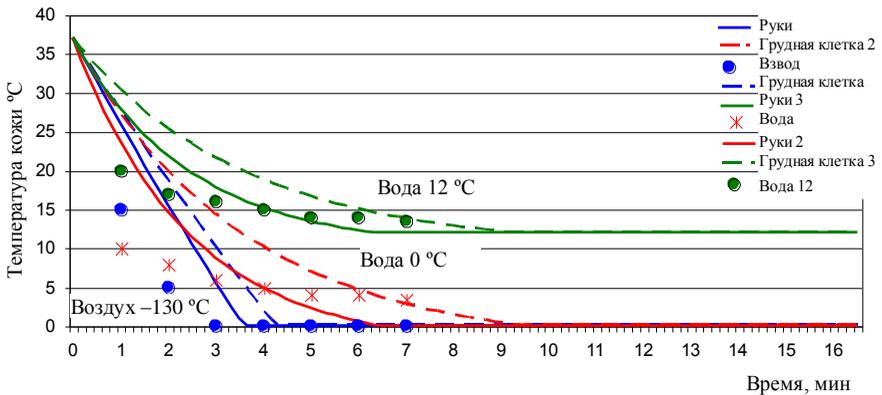


Рис. 6.2. Сравнение результатов предложенной модели системы термостабилизации человека (прямые и пунктирные линии) с численным экспериментом на модели оболочки человеческого тела А.Ю. Баранова [34] (точки)

согласуются друг с другом, однако количественно наблюдается некоторое расхождение. Модель [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.

## 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 графики температур тканей (STR\_TK.DAT), слоев тканей (STR\_GA.DAT), тепловых потерь тканей (STR\_Q.DAT), кожи (STR\_KG.DAT), а также перепад 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

№	Среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик % жира	Температура 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

№	Среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик % жира	Индивидуальные параметры	Температура среды, °С
	строка 1	строка 4	строка 5	строка 8	строка 17	строки 12...16 и строки 18...22	строка 2

№	Среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик % жира	Индивидуальные параметры	Температура среды, °С
1	2	1 (либо 2)	20	4	1	измерения	0
2	1	2 (либо 2)	20	8	1	измерения	-140

**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

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ (clo) НА ОХЛАЖДЕНИЕ В ВОДНОЙ И ВОЗДУШНОЙ СРЕДАХ

**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  $1 \text{ clo} = 0,21 \text{ м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$  [14, 20, 21].

В работе исследуется влияние на процесс охлаждения в водной среде термического сопротивления внешней теплоизоляции в диапазоне  $\text{clo} = 0 \dots 7$  (рис. 7.1). Установлено, что рост термического сопротивления приводит к уменьшению теплотерь расчетных элементов системы в окружающую среду, а также к уменьшению темпа охлаждения

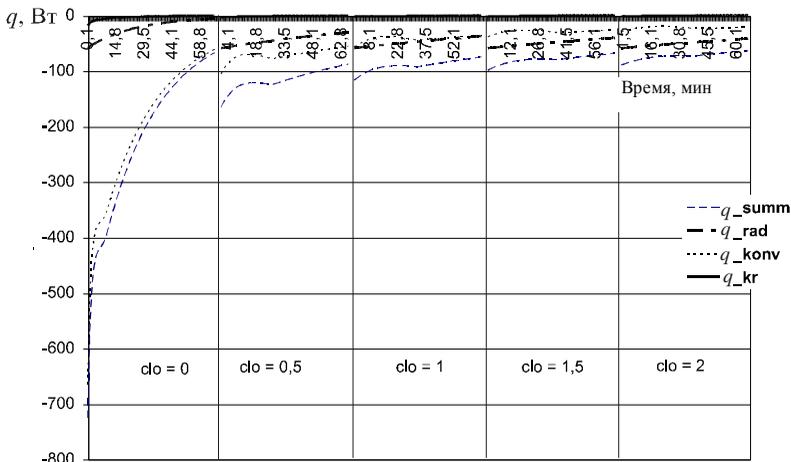


Рис. 7.1. Изменение суммарного теплового потока и его составляющих в зависимости от термического сопротивления (clo) внешней теплоизоляции (одежды)

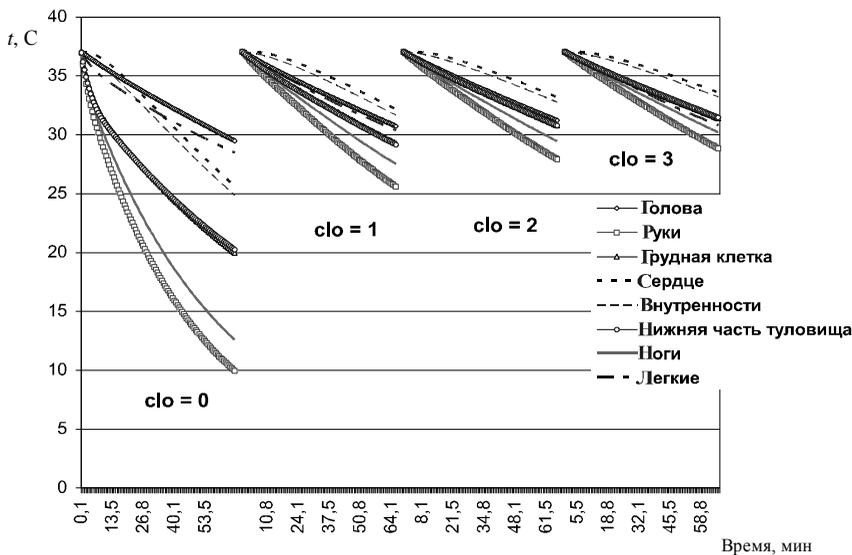


Рис. 7.2. Изменение среднemasовых температур «ядра» расчетных элементов в зависимости от значений термического сопротивления внешней теплоизоляции

среднемассовых 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. 7.2).

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.

## 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 графики температуры тканей (STR\_TK.DAT), слоев тканей (STR\_GA.DAT), тепловых потерь тканей (STR\_Q.DAT), кожи (STR\_KG.DAT), а также перепад температур (STR\_DT.DAT);

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

– сравнить процессы охлаждения в криосауне и криобассейне, отметить достоинства и недостатки каждого метода.

Таблица 7.1

### Исходные данные для нормы

№	Среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик % жира	Температура среды, °С
	строка 1	строка 4	строка 5	строка 8	строка 17	строка 2
1	2	1 (либо 2)	20	1	2	0
2	1	1 (либо 2)	20	1	2	–140

**Исходные данные для индивидуальных параметров**

№	Среда	Пол	Возраст	Шаг времени	Счетчик % жира	Индивидуальные параметры	Температура среды, °С
	строка 1	строка 4	строка 5	строка 8	строка 17	строки 12...16 и строки 18...22	строка 2
1	2	1 (либо 2)	20	1	1	Измерения	0
2	1	2 (либо 2)	20	1	1	Измерения	-140

**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.

## Литература

1. *Баженов Ю.И.* Термогенез и мышечная деятельность при адаптации к холоду. – Л.: 1981.
2. *Бартон А., Эдхолм О.* Человек в условия холода. – М.: 1957.
3. *Васин Ю.А.* Тепловое состояние системы «человек – окружающая среда» в экстремальных условиях: автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2003.
4. *Гусева Л.А.* Материалы по адаптации к холоду: автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 1964.
5. *Десятов В.П.* Смерть от переохлаждения организма. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1977.
6. *Дьяченко Ю.В., Спарин В.А., Чичиндаев А.В.* Системы жизнеобеспечения летательных аппаратов: учеб. пособие для вузов / под ред. Ю.В. Дьяченко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 512 с. (Сер. «Учебники НГТУ»).
7. *Дьяченко Ю.В., Чичиндаев А.В.* Численное моделирование системы терморегуляции человека: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.
8. *Ермакова И.И.* Исследование динамических процессов в системе терморегуляции человека методом цифрового моделирования: автореф. дис... канд. техн. наук. – Л., 1974. – 21 с.
9. *Жуков Н.И.* Механизмы терморегуляции при конвекционном и радиационном охлаждении: автореф. дис... канд. техн. наук. – Петрозаводск, 1965.
10. *Иванов К.П.* Мышечная система и химическая терморегуляция. – М.; Л.: Наука, 1965.
11. *Кандор И.С.* Очерки по физиологии и гигиене человека на Крайнем Севере. – М.: Медицина, 1968.
12. *Клинецвич Г.Н.* Поражение холодом. – Л.: Медицина, 1973.
13. *Корниенко И.А.* Возрастные изменения энергетического обмена и терморегуляции. – М.: Наука, 1979.
14. *Коцеев В.С.* Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека от холода. – М.: Медицина, 1981.
15. *Куманичкин С.Д.* Острое переохлаждение в воде: автореф. дис... канд. техн. наук. – Л., 1954.
16. *Ландо Н.Г.* Характеристика физиологических реакций организма на локальное охлаждение поверхности тела человека в условиях тепловой изоляции: автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 1970.

17. Основы физиологии человека / под. ред. акад. Б.И. Ткаченко. – С.Пб.: Медицина, 1994. – 567 с.
18. Патологическая физиология экстремальных состояний / под. ред. П.Д. Горизонтова, Н.Н. Сиротинина. – М.: Медицина, 1973.
19. *Слоним А.Д.* Эволюция терморегуляции. – Л.: Наука, 1986.
20. *Уманский С.П.* Снаряжение летчика и космонавта. – М.: Воениздат, 1967.
21. Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты / под ред. В.С. Кошечева и З.С. Четвериковой. – М.: 1981.
22. *Хромова ИВ., Чичиндаев А.В.* Компьютерное моделирование работы системы термостабилизации человека в условиях низких температур. // *Авиакосмическое приборостроение.* – 2009. – № 3. – С. 44–55.
23. *Цивина Т.А., Ажаев А.П.* Модель теплообмена человека и идентификация ее параметров (физиологические исследования и математическое моделирование). – *Физиол. человека.* – 1979. – № 1. – С. 159–166.
24. *Человек: медико-биологические данные.* – М.: Медицина, 1977.
25. *Чичиндаев А.В., Фомичева И.В.* Исследование воздействия невесомости и гиподинамии на работу кровеносной системы человека / *Авиакосмическое приборостроение.* – 2007. – № 4. – С. 33–42.
26. *Чичиндаев А.В., Фомичева И.В.* Исследование воздействия эффекта вращения крови на гемодинамические параметры кровеносной системы человека / *Авиакосмическое приборостроение.* – 2006. – № 7. – С. 38–42.
27. *Чичиндаев А.В., Фомичева И.В.* Оценка эффективности тренажеров для компенсации гиподинамии в условиях длительной невесомости / *Авиакосмическое приборостроение.* – 2006. – № 12. – С. 9–19.
28. *Чичиндаев А.В., Фомичева И.В., Толстошеева В.В.* Численное моделирование кровеносной системы человека / *Авиакосмическое приборостроение.* – 2006. – № 11. – С. 35–46.
29. *Чичиндаев А.В.* Разработка модели расчета системы терморегуляции человека // *Тепломассообмен ММФ-2000: Тр. IV Минского Международного форума по тепломассообмену.* – Минск, 2000. – Т. 7: *Тепломассообмен в реологических системах.* – С. 110–118.
30. *Чичиндаев А.В.* Численное моделирование кровеносной системы человека: метод. указ. к лаб. раб. для 2-6 курсов (спец. 131100, 070200). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.
31. *Чичиндаев А.В., Фомичева И.В.* Исследование воздействия высотных факторов на организм человека: метод. указ. к лаб. раб. для

4–6 курсов (спец. 160100, 160202, 551013). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.

32. *Чичиндаев А.В., Хромова И.В.* Компьютерное моделирование работы системы термостабилизации человека в условиях низких температур: метод. указ. к лаб. раб. для 4–6 курсов (спец. 160202, 160100). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008.

33. Анатомия и морфология жировой ткани // Kosmetik international. – 2001. – Вып 2. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.massage.ru/cellulit/anat.htm> (дата обращения: 10.12.2008)

34. Физическая модель объекта криогенного физиотерапевтического воздействия // Криотерапия в России. – 2008. – [Электронный ресурс]. URL: <http://cryotherapy.rusmedserv.com/spec3.html> (дата обращения: 10.12.2008)

# ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ

## 1.1. Ввод исходных данных

**Запуск программы.** На первый запрос нужно ввести цифру «1» и нажать клавишу «enter». После этого на экране появится таблица ввода исходных данных (см. рисунок). В таблице указаны строки, отвечающие за ввод параметров и значения параметров.

**Ввод исходных данных.** Для ввода исходных данных необходимо вызвать строку и задать нужный параметр.

```
#####
##### ПРОГРАММА РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛАЦИИ #####
### ЕСЛИ ЖЕЛАЕТЕ ЗАПУСТИТЬ ПРОГРАММУ, ТО ###
### ЗАДАЙТЕ НУЖНЫЙ СЧЕТЧИК IO IO1 : ###
### ЕСЛИ " ДА " - 1, ЕСЛИ " НЕТ " - 0. ###
#####
### IOIO1 = 0 ВВЕДИТЕ IO IO1 = 1
```

### PROGRAMMA RASCHETA SISTEMU TERMOREGULACII STR\_07

I	N	I	Параметр	I	Значение	I
I	1	I	N_OK_SR: vozd - 1, voda - 2	I	2.00000	I
I	2	I	NN_TV - t_OK_SR, GRAD C	I	.00000	I
I	3	I	NN_UV - U_OK_SR, SM/C (-1)	I	.00000	I
I	4	I	N_POL, 1 - mug, 2 - gen	I	1.00000	I
I	5	I	N_U - 10,20,30,40,50 let	I	30.00000	I
I	6	I	NN_TK - t_tela, GRAD C	I	37.00000	I
I	7	I	Q_UN - TEPL0-UN, Ut	I	.00000	I
I	8	I	N_DTAU - SHAG, SEC	I	4.00000	I
I	9	I	N_I - CHISLO SHAGOU	I	1000.00000	I
I	10	I	N_L - INDEKS G_GMD	I	1.00000	I
I	11	I	Q_MB - TEPL0-MB, Ut	I	90.00000	I
I	12	I	EH - rost, sm	I	169.00000	I
I	13	I	EG - ves, kg	I	60.00000	I
I	14	I	ED1 - okrugn.shei, sm	I	35.00000	I
I	15	I	ED2 - okrugn.talii, sm	I	76.00000	I
I	16	I	ED3 - okrugn.beder, sm	I	92.00000	I
I	17	I	EGIR - shethik gira, %	I	2.00000	I
I	18	I	ED4 - okrugn.golovy, sm	I	58.00000	I
I	19	I	ED5 - okrugn.gr-kletri, sm	I	90.00000	I
I	20	I	ED6 - okrugn.ruki, sm	I	42.00000	I
I	21	I	ED7 - okrugn.nogi, sm	I	24.00000	I
I	22	I	EKLO - KLO TZI, edincy 1...7I	I	.00000	I
I	23	I	I_IE - 1-ekstr, 2-inrov	I	1.00000	I
I	24	I	NN_PI - davlenie, kPa	I	101.00000	I

ДЛЯ ВВОДА ПАРАМЕТРА ВВЕДИТЕ ЕГО НОМЕР IO = 1...25,  
 ДЛЯ ЗАПУСКА ПРОГРАММЫ ВВЕДИТЕ НОЛЬ - 0 - IO = 1  
 I 1 I N\_OK\_SR: vozd - 1, voda - 2 I1.

Таблица ввода исходных данных в программу

**Вызов строки.** Для того чтобы вызвать строку, нужно набрать ее номер и нажать клавишу «**enter**». После этого вызываемая строка появляется внизу под таблицей.

**Задание параметра.** В появившейся строке нужно указать значение параметра, поставить после него точку и нажать клавишу «**enter**». После этой операции появляется новая таблица данных, в которой стоит новый параметр.

**Запуск на счет.** После замены всех необходимых строк (в соответствии с таблицей исходных данных к лабораторным работам) необходимо запустить программу на счет. Для этого нужно ввести цифру «0» и нажать клавишу «**enter**».

После завершения расчетов на мониторе вновь появится заставка программы. Для выполнения второй и последующих серий расчетов, нужно набрать «1» и нажать клавишу «**enter**», чтобы еще раз войти в программу. На экране появится таблица с параметрами, которые были заданы в первом расчете. Далее нужно вызвать требуемую строку и заменить значение исследуемого параметра на новое, затем снова запустить программу на счет.

**Закрытие программы.** После завершения всех расчетов в заставке программы набирается цифра «0» и клавиша «**enter**».

## 1.2. Расшифровка файлов результатов

Вывод результатов расчета осуществляется в программе автоматически в специальные файлы с расширением «DAT» (см. таблицу).

Имя файла	Тип данных, содержащихся в файлах
	Тепловые потоки
STR_Q.DAT	Тепловые потери тканей абсолютные $Q$ , Вт
STR_QI.DAT	Составляющие тепловых потерь для руки абсолютные $Q$ , Вт
STR_QU.DAT	Тепловые потери тканей относительные $Q$ , Вт
STR_TFSA.DAT	Коэффициент теплоотдачи отдельных тканей $\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
	Температуры
STR_KG.DAT	Среднемассовая температура кожи $t$ , °С
STR_TK.DAT	Среднемассовая температура тканей $t$ , °С
STR_DT.DAT	Перепад температуры в подкожном слое капилляров $\Delta t$ , °С
STR_GA.DAT	Температуры на стыке слоев в руке $t$ , °С
	Температуры на стыке слоев тканей (сечения между слоями)
STR_GK.DAT	Кожи (кожа – подкожные капилляры) $t$ , °С
STR_GT.DAT	За слоем СТР (подкожные капилляры – жир) $t$ , °С
STR_GG.DAT	За слоем жира (жир – мышца) $t$ , °С

## Окончание таблицы

<b>Имя файла</b>	<b>Тип данных, содержащихся в файлах</b>
STR_GV.DAT	За слоем мышц (мышца – кость (внутренности)) $\Delta t$ , °C
	Теплофизические параметры
STR_TT.DAT	Безразмерные температуры тканей $\Theta$
STR_LA.DAT	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ для подкожного слоя капилляров Вт/(м·К)
STR_BI.DAT	Число $Bi$ для подкожного слоя сети капилляров
STR_TFS.DAT	Теплофизические свойства среды

В данные файлы заносятся все выполненные в программе варианты расчетов в той последовательности, в какой они задавались на экране. После выхода из программы данные файлы можно найти в каталоге, из которого осуществлялся запуск программы.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР  
НА СИСТЕМУ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ЧЕЛОВЕКА**

**Методические указания**

Редактор *Н.В. Городник*  
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*  
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

---

Подписано в печать 15.12.2009. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 100 экз.  
Уч.-изд. л. 2,32. Печ. л. 2,5. Изд. № 230. Заказ № Цена договорная

---

Отпечатано в типографии  
Новосибирского государственного технического университета  
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20