

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-42-52

<sup>1,\*</sup>Лобанов Д.В., <sup>2</sup>Звенигородский И.И., <sup>3</sup>Свирин М.В., <sup>2</sup>Сафонов С.А., <sup>3</sup>Семенов А.С.<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет<sup>2</sup>Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина<sup>3</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: LDV-36@mail.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ ОТ ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ ЭНЕРГОТРАТ И ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

**Аннотация.** Проведен анализ действующих нормативных документов и справочно-методической литературы, используемой при проведении расчетов, связанных с определением тепловыделений от людей, занятых различными видами труда. Выявлено неполное соответствие величин тепловыделений характеристикам тяжести выполняемой работы для различных видов деятельности с учетом возраста людей при их телосложении, соответствующем нормальной массе тела. Определены расчетные значения коэффициента физической активности для условного человека, а также величины тепловыделений мужчин с разделением их по возрастным категориям. Представлены графики энергетических затрат для мужчин разного возраста, выполняющих работы различной тяжести, в соответствии с нормами. Проведено сравнение полученных величин энергозатрат с данными нормативных документов и справочно-методической литературы для различных категорий работ. Показана актуальность и необходимость учета данных по тепловыделениям от людей с учетом их возраста, антропометрических параметров и прочих условий при проектировании систем микроклимата, в том числе систем персональной и адаптивной вентиляции. Результаты исследования будут полезны инженерам-проектировщикам, реализующим схемные решения систем микроклимата, обеспечивающих комфортные параметры воздушной среды в помещениях различного назначения.

**Ключевые слова:** энергозатраты человека, тепловыделения, физические параметры человека, условный человек, средний человек, коэффициент физической активности.

**Введение.** При проектировании систем обеспечения микроклимата требуется выполнить расчет количества выделяемых в помещении вредных веществ, при этом их вид и количество зависят от его функционального назначения и категории тяжести выполняемых работ людьми. Для большинства общественных зданий основными вредными веществами являются тепло- и влаговыведения, а также газообразные вещества, выделяемые человеком [1]. В соответствии с СП 60.13330.2020 «...величина требуемого расхода приточного воздуха (воздухообмена) помещений определяется с учетом выделяемых в помещении вредных веществ отдельно для теплого и холодного периодов года».

Также в нормативных требованиях к системам вентиляции приведены минимальные расходы наружного воздуха на одного человека: «в зависимости от назначения помещения и наличия постоянных рабочих мест; его величина для производственных, общественных и административно-бытовых помещений (без естественного проветривания) составляет 60 м<sup>3</sup>/ч». Однако, согласно [2-5] данная величина требует корректировки с учетом появления современных экспериментальных данных [6] и систем микроклимата (персональная и адаптивная вентиляция) [7, 8], предназначенных для создания комфортных параметров воздушной среды в помещениях и ло-

кальных объемах рабочих зон с учетом предпочтений и фактических потребностей, находящихся людей.

Задачей данного исследования является уточнение величин тепловыделений от людей (с учетом их особенностей), занятых различными видами трудовой деятельности, с целью более точного определения поступающих тепловыделений, составления теплового баланса в помещении, а также расчета требуемого воздухообмена.

**Основная часть.** Труд человека может быть умственным или физическим. При мышечной (физической) работе освобождается тепловая и механическая энергия, а коэффициент полезного действия колеблется от 16 до 25 % [9]. Поэтому в дальнейшем под энергозатратами людей будем понимать их тепловыделения, что согласуется с данными справочно-методической литературы [10–15].

В нормативных документах приведено соответствие энергетических затрат «условного человека», под которым понимается «мужчина возрастом 20-30 лет, проживающий в умеренном климате, с массой тела 70 кг и ростом 170 см, площадь поверхности тела которого равна 18000 см<sup>2</sup>» [16].

Представим в таблице 1 данные по удельным энергетическим тратам ( $q$ , Вт/м<sup>2</sup>), отнесенные к площади его поверхности, согласно Р2.2.2006-05

условного человека и определим их полные значения (Q, Вт). Также выполним сравнение полных энергетических трат «условного» человека для различных категорий тяжести выполняемых

работ, представленных в СанПиН 1.2.3685-21 приведены полные энергозатраты для категорий работ различной тяжести. Данные представим в таблице 2.

Таблица 1

### Удельные и полные энергетические траты «условного» человека

Категория работ по уровню энергозатрат	Удельный расход энергии, q	Средний удельный расход энергии, q	Расход энергии, Q	Средний расход энергии, Q
	Вт/м <sup>2</sup>		Вт	
Легкая, Ia	58	68	105	123
	77		139	
Легкая, Ib	78	88	141	159
	97		176	
Средней тяжести, Pa	98	113	177	204
	129		233	
Средней тяжести, Pb	130	145	235	262
	160		290	
Тяжелая, III	161	177	291	320
	193		349	

Таблица 2

### Сравнение полных энергетических трат «условного» человека

Категория работ по уровню энергозатрат	СанПиН 1.2.3685-21	Р2.2.2006-05	Отклонение, %
	Расход энергии, Q Вт		
Легкая, Ia	105	105	0
	139	139	0
Легкая, Ib	140	141	0,71
	174	176	1,15
Средней тяжести, Pa	175	177	1,14
	232	233	0,43
Средней тяжести, Pb	233	235	0,86
	290	290	0
Тяжелая, III	291	291	0
	349	349	0

Таким образом, расхождения между энергетическими тратами условного человека, выполняющего различные виды работ, согласно нормативным документам минимальны и составляют примерно 1 %.

Для определения суточных энергозатрат человека пользуются формулой: «сумма затрат энергии на конкретные виды деятельности, каждая из которых рассчитывается как произведение величины основного обмена (ВОО) на соответствующий коэффициент физической активности и времени, в течение которого эти виды деятельности выполняются» [17]. Однако, в [18] указано, что необходимы уточнения значений величин коэффициентов физической активности (КФА) [19] с

учетом нормативных документов и возрастной периодизации мужчин [19, п.1.5] (женщин и детей в данной работе не рассматриваем).

Следует отметить, что в данной статье субъектом исследования являются мужчины с нормальной массой тела (индекс массы тела (ИМТ) составляет 20 – 25 кг/м<sup>2</sup>), в таблице 3 представлены их антропометрические параметры с учетом возраста. Определим суточные и часовые ВОО для каждой возрастной группы мужчин, результаты сведем в таблицу 4. В таблице 5 показано соответствие между группой активности людей, выполняемым видом деятельности и коэффициентами физической активности (КФА) согласно [19].

Таблица 3

**Антропометрические параметры мужчины с нормальной массой тела**

Возрастная группа	Среднее значение возраста в группе	Антропометрические параметры		Площадь поверхности по формуле Дюбуа м <sup>2</sup>
		масса тела, кг	рост, см	
≥75	75	66,7	169,6	1,77
65 – 74	69,5	68,9	172,1	1,81
45 – 64	54,5	70,9	174,6	1,86
30 – 44	37	72,3	176,7	1,89
18 – 29	23,5	72,1	177,5	1,89

Таблица 4

**Величины основного обмена (ВОО) мужского населения**

Среднее значение возраста в группе	ВОО, ккал/сут	ВОО, ккал/ч	ВОО, Вт
75	1362	57	66
69,5	1427	59	69
54,5	1536	64	74
37	1650	69	80
23,5	1719	72	83

Таблица 5

**Уровни физической активности человека**

Номер группы	Уровень активности	Вид деятельности	КФА
I	очень низкая физическая активность	работники преимущественно умственного труда	1,4
II	низкая физическая активность	работники, занятые легким трудом	1,6
III	средняя физическая активность	работники средней тяжести труда	1,9
IV	высокая физическая активность	работники тяжелого физического труда	2,2

Согласно физиологическим данным [20]: «мужчины разделены на 5 групп в зависимости от особенности профессии с указанием соответствующих КФА от 1,4 (работники, занятые преимущественно умственным трудом) до 2,5 (работники, занятые особо тяжелым физическим трудом)».

Решим обратную задачу. Определим значения величин КФА с учетом СанПиН 1.2.3685-21 и Р2.2.2006-05, а также физиологических данных [19, 20].

Сравним полученные КФА с данными [19] и представим в таблице 7.

Таблица 6

**Величины КФА в зависимости от категории работ по уровню энерготрат «условного» человека**

Категория работ по уровню энерготрат	Расход энергии		КФА
	Вт	ВОО Вт	
Легкая, Ia	105	78	1,3
	139	78	1,8
Легкая, Ib	141	78	1,8
	176	78	2,3
Средней тяжести, IIa	177	78	2,3
	233	78	3,0
Средней тяжести, IIб	235	78	3,0
	290	78	3,7
Тяжелая, III	291	78	3,7
	349	78	4,5

Отметим, что в справочно-методической литературе [10–15] представлены данные по тепловыделениям условного человека (мужчины) без деления категорий тяжести работ на подкатегории (Ia, Ib, IIa, IIб): легкая, средней тяжести, тяжелая.

Выполним расчет энергетических трат и построение графиков для различных категорий тяжести работ, выполняемых мужчинами разного возраста.

На рисунках 1–3 представлены графики зависимости энергетических трат от полученных КФА и возраста.

Таблица 7

**Величины КФА «условного» человека**

Категория работ по уровню энергозатрат	Полученные значения	[19]
Легкая (Ia, Ib)	1,3; 1,8; 2,3	1,6
Средней тяжести (IIa, IIб)	2,3; 3,0; 3,7	1,9
Тяжелая (III)	3,7; 4,5	2,2

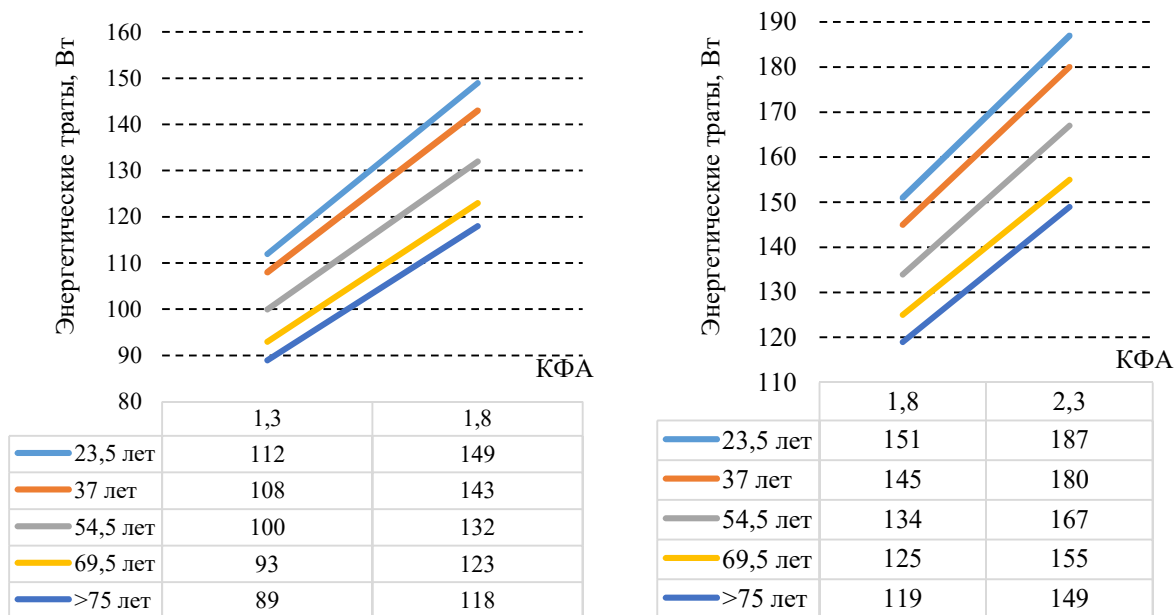


Рис. 1. Расход энергии мужчинами разного возраста для различных коэффициентов физической активности при выполнении легкой работ уровней Ia (а) и Ib (б)

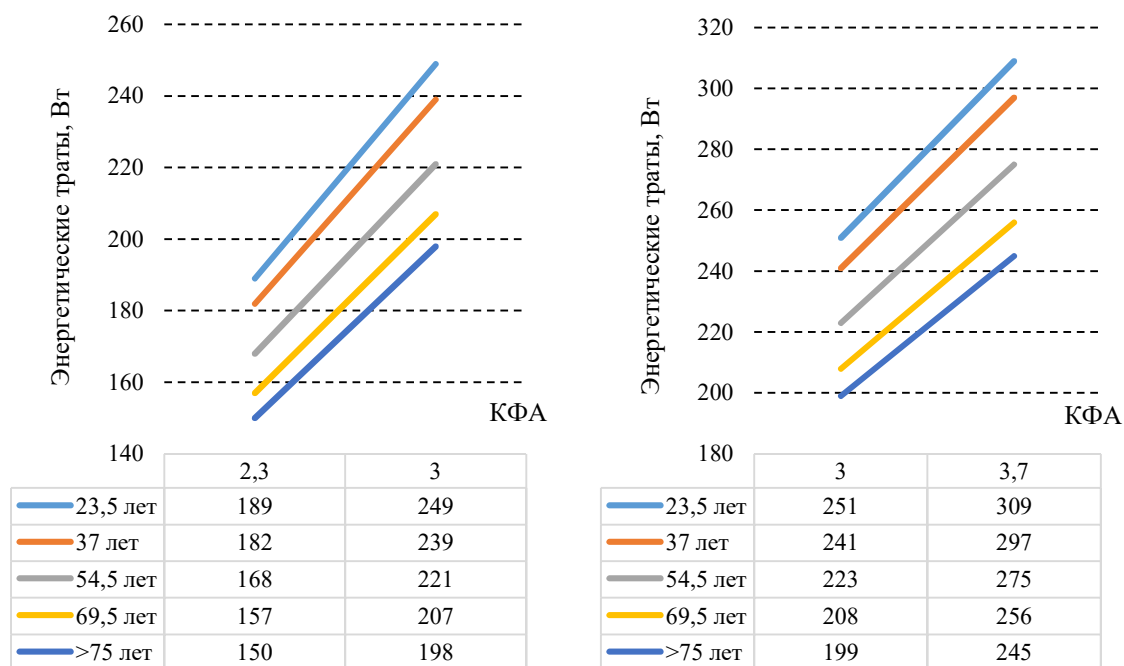


Рис. 2. Расход энергии мужчинами разного возраста для различных коэффициентов физической активности при выполнении работ уровней IIa (а) и IIб (б)

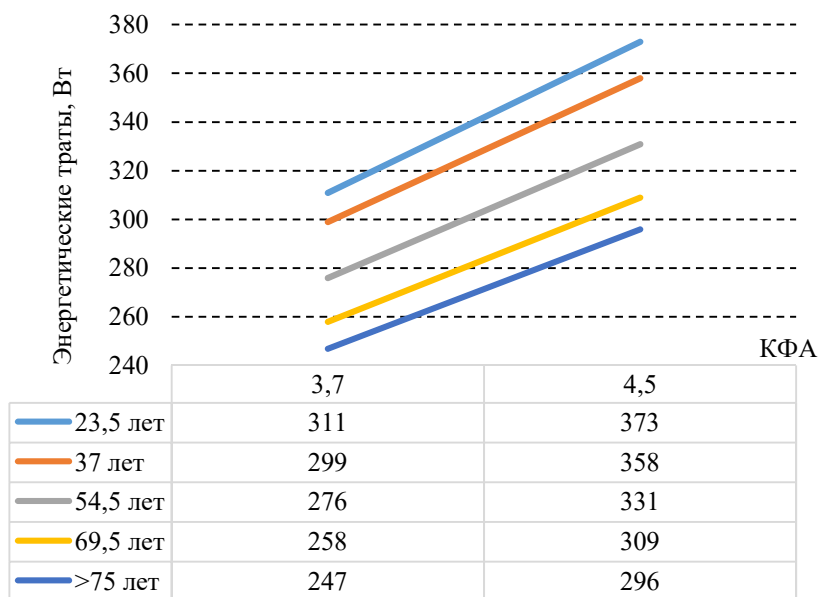


Рис. 3. Расход энергии мужчинами разного возраста для различных коэффициентов физической активности при выполнении тяжелой работы

Из рисунков 1-3 следует, что энергетические траты (соответственно, теплопоступления) людей нужно систематизировать не только в зависимости от вида выполняемой работы (коэффициента физической активности), но и с учетом их возрастной периодизации [19].

Представим в таблице 8 сравнение величин энергетических трат мужчин в зависимости от категории тяжести выполняемой работы с учетом их возраста.

Таблица 8

**Сравнение энергетических трат условного человека и мужчин разного возраста с нормальной массой тела**

Нормативные, справочно-методические данные				Полученные данные							
категория работ по уровню энерготрат	Энерготраты, Вт			Энерготраты, Вт							
	СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05		[10–15]	Возраст, лет					средние по возрасту	средние по работе	
	диапазон значений	среднее значение		18–29	30–44	45–64	65–74	≥ 75			
Легкая, Ia	105	122	150	112	108	100	93	89	100	117	
	139			149	143	132	123	118	133		
Легкая, Ib	140	157		151	145	134	125	119	135	151	
	174			187	180	167	155	149	168		
Средней тяжести, IIa	175	204		205	189	182	168	157	150	169	196
	232				249	239	221	207	198	223	
Средней тяжести, IIб	233	262	251		241	223	208	199	225	250	
	290		309		297	275	256	245	276		
Тяжелая, III	291	320	292		311	299	276	258	247	278	306
	349				373	358	331	309	296	333	

Использование полученных данных возможно при составлении теплового баланса здания, определения теплового комфорта человека [21–23], разработки моделей [24] и выполнения иных исследований [25]. Таким образом, при адаптивном расчете систем обеспечения микроклимата необходимо учитывать возраст человека (специфика определенных видов производств,

работы предприятий и т.д.), то данные таблицы 8 будут полезны проектировщикам.

Рассмотрим влияние уточненных данных при определении теплового комфорта человека. Подобная оценка базируется на исследованиях П.О. Фангера [26], на основе прогнозируемой средней оценки (PMV), используя который можно предугадать тепловое ощущение группы людей (табл. 9).

Таблица 9

## Соответствие ощущений человека и прогнозируемой средней оценки микроклимата [26]

значение $PMV$	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
тепловое ощущение	Жарко	Тепло	Немного тепло	Нейтрально	Немного прохладно	Прохладно	Холодно

Однако, чтобы получить более полное представление о восприятии микроклимата здания, необходимо учитывать уровень удовлетворенности находящихся в помещении людей. Для этого

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2), \quad (1)$$

Для расчета необходимо учитывать следующие параметры:

- параметры окружающей среды;
- температура воздуха в помещении;
- средняя температура окружающих поверхностей;
- влажность воздуха;
- скорость воздуха;
- личные факторы:
- скорость метаболизма – может изменяться в зависимости от уровня активности человека. В качестве единицы измерения принимают  $1 \text{ мет} = 58 \text{ Вт/м}^2$ , что соответствует энергии, производимой на единицу площади поверхности среднестатистического здорового человека, находящегося в сидячем положении в состоянии покоя. В стандартах приводятся значения скорости метаболизма для различных видов деятельности;
- уровень теплоизоляции одежды человека – единицей измерения принимается  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ , что соответствует брюкам, рубашке с длинными рукавами и куртке. В стандартах указаны значения теплоизоляции как типовых комплектов одежды, так и отдельных её элементов.

Для демонстрации необходимости уточнения тепловыделения человека при его нахождении в помещении проведем расчёт. В качестве исходных данных примем следующие значения окружающей среды:

- температура внутреннего воздуха  $t_{\text{возд}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- средняя температура окружающих поверхностей  $t_{\text{пов}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха  $\varphi = 50 \text{ \%}$ ;
- скорость воздуха  $V_{\text{возд}} = 0,1 \text{ м/с}$ ;
- теплоизоляция комплекта одежды  $I_{\text{cl}} = 0,5 \text{ кло}$ , соответствующее комплекту одежды

П.О. Фангер разработал дополнительное уравнение (1), которое отражает зависимость  $PMV$  с прогнозируемым процентом недовольных  $PPD$  [27]:

теплого сезона по ГОСТ Р ИСО 7730-2009: «комбинации одежды данной теплоизоляции: трусы, длинные легкие брюки, рубашка с открытой шеей и короткими рукавами, легкие носки и ботинки».

Прогнозируемый процент недовольных ( $PPD$ ), устанавливающий количественный прогноз процентной доли жителей, неудовлетворенных температурой в помещении, согласно *ISO 7730* не должен превышать 20 %. Данный показатель соответствует доле людей, испытывающих локальный дискомфорт, рассчитанный по уравнению теплового баланса между телом человека и окружающей средой. В расчетах учитывается скорость метаболизма (обмена веществ) принимается в соответствии с видом деятельности человека. Результаты расчета показателей  $PMV$  и  $PPD$  с представлены в таблице 10.

Однако подобный метод расчета не позволяет оценить тепловой комфорт человека в зависимости от его возраста и вида деятельности по степени тяжести. Применим данные, полученные в таблице 8, для расчета показателей. Полученные данные индекса теплового комфорта ( $PMV$ ) представлены в таблице 11.

Полученные данные показателя прогнозируемого процента недовольных ( $PPD$ ) представлены в таблице 12.

Сравнив полученные данные, можно отметить, что оценка комфортности человека с использованием полученных данных энергетических трат позволяет более гибко рассматривать тепловые состояния отдельных возрастных групп работников различного типа производств или жильцов многоквартирных домов, что даёт возможность более качественного регулирования внутреннего микроклимата конкретного помещения с учетом рассмотренных факторов.

Таблица 10

**Данные расчета показателей PMV и PPD с использованием состояний человека согласно  
ГОСТ Р ИСО 7730 «Эргономика термальной среды»**

Состояние	Скорость обмена веществ, Вт/м <sup>2</sup>	PMV	Ощущение	PPD, %
Полулежа	46	-4,13	Очень холодно	100
Сидя, расслабленно	58	-2,3	Прохладно	88,4
Сидячая работа (в офисе, дома, школе)	70	-1,42	Немного прохладно	46,67
Легкая двигательная активность, работа в позе стоя (покупка товаров, легкая промышленность)	93	-0,46	Нейтрально	9,43
Средняя двигательная активность, работа в позе стоя (продавец, работа по дому, механическая обработка)	116	0,11	Нейтрально	5,24
<b>Ходьба по горизонтальной поверхности:</b>				
2 км/ч	110	-0,02	Нейтрально	5,01
3 км/ч	140	0,57	Немного тепло	11,88
4 км/ч	165	1,02	Немного тепло	27,15
5 км/ч	200	1,65	Тепло	58,8

Таблица 11

**Данные расчета индекса теплового комфорта (PMV)**

Нормативные, справочно-методические данные				Полученные данные					
категория работ по уровню энергозатрат	СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05		[10–15]	Возраст, лет					
				18–29	30–44	45–64	65–74	≥75	
Легкая, Ia	-2,27	-1,56	-0,79	-2,19	-2,40	-2,83	-3,32	-3,38	
	-1,05			-0,98	-1,11	-1,36	-1,55	-1,63	
Легкая, Ib	-1,02	-0,65		-0,93	-1,06	-1,30	-1,49	-1,59	
	-0,35			-0,29	-0,39	-0,55	-0,71	-0,76	
Средней тяжести, Pa	-0,34	0,05		0,06	-0,27	-0,36	-0,54	-0,67	-0,74
	0,36			0,42	0,32	0,17	0,07	0,02	
Средней тяжести, Pb	0,38	0,67	0,06	0,44	0,34	0,19	0,08	0,03	
	0,96		1,00	0,89	0,72	0,59	0,54		
Тяжелая, III	0,97	1,25	0,98	1,01	0,91	0,73	0,61	0,56	
	1,54		1,60	1,46	1,26	1,12	1,06		

Таблица 12

**Данные расчета показателя прогнозируемого процента недовольных (PPD)**

Нормативные, справочно-методические данные				Полученные данные					
категория работ по уровню энергозатрат	СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05	средние СанПиН 1.2.3685-21 Р2.2.2006-05	[10–15]	Возраст, лет					
				18–29	30–44	45–64	65–74	≥75	
Легкая, Ia	87,32	53,99	18,14	84,59	91,02	98,07	99,73	99,90	
	28,12			25,12	31,18	43,14	53,89	57,89	
Легкая, Ib	27,01	13,8		23,27	28,90	40,04	50,18	55,90	
	7,62			6,80	8,18	11,41	15,61	17,07	
Средней тяжести, Pa	7,4	5,05		5,08	6,47	7,71	11,02	14,46	16,40
	7,77			8,64	7,15	5,61	5,09	5,01	
Средней тяжести, Pb	7,93	14,57	5,08	8,99	7,43	5,78	5,13	5,02	
	24,28		25,95	21,67	16,02	12,39	11,19		
Тяжелая, III	24,68	37,74	25,08	26,74	22,40	16,32	12,91	11,68	
	52,87		56,13	48,84	38,32	31,37	28,87		

**Выводы.** Полученные величины коэффициентов физической активности (КФА) для мужчин с нормальной массой тела могут быть уточнены для других антропометрических параметров.

Полученные расчетные данные по энерготратам мужчин (средние величины по возрасту и работе) близки к нормативным и справочно-методическим величинам. Однако при адаптивном расчете систем обеспечения микроклимата необходимо учитывать возраст человека (специфика определенных видов производств, работы предприятий и т.д.), то данные таблицы 8 будут полезны проектировщикам. Использование полученных данных возможно при составлении теплового баланса здания, определения теплового комфорта человека, разработки моделей и выполнения иных исследований.

Следует отметить, что полученные данные, указанные в таблице 8, требуются при создании систем комфортного микроклимата, в том числе организации систем персональной (индивидуальной) и адаптивной вентиляции.

*Источник финансирования.* Исследования выполнены по гранту Президента РФ для ведущей научной школы (проект НШ-25.2022.4).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений. М.: Стройиздат, 1981. 248 с.
2. Губернский Ю.Д., Шилькрот Е.О. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2008. № 4. С. 4–12.
3. Нормы воздухообмена: дискуссия специалистов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2019. № 8. С. 32–39.
4. Устинов В.В. Определение минимального расхода наружного воздуха при проектировании систем вентиляции // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2016. №6. С. 36–44.
5. Dешко V., Buyak N. A model of human thermal comfort for analysing the energy performance of buildings // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 4. No 8(82). Pp. 42–48. DOI 10.15587/1729-4061.2016.74868.
6. Zvenigorodsky I., Lobanov D., Mershchiyev A., Sheps R. Carbon dioxide as the main hazard in the design of personal ventilation systems // E3S Web of Conferences. Rostov-on-Don. 2020. 11018. DOI 10.1051/e3sconf/202017511018.
7. Лобанов Д.В., Мерщиев А.А., Соловьев С.А. Системы персональной энергосберегающей вентиляции офисных помещений // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. № 3(2). С. 60–69.
8. Системы адаптивной вентиляции: перспективные направления развития // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2011. № 7. С. 30–33.
9. Физиология человека: под ред. Г. И. Кошечко. М.: Медицина. 1985. 544 с.
10. Стомахина Г.И., Бобровицкий И.И., Малявина Е.Г., Плотникова Л.В. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: Справочное пособие. М.: Пантори, 2003. 308 с.;
11. Титов В.П. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции промышленных зданий. М.: Стройиздат, 1985. 208 с.
12. Каменев П.Н., Тертичник Е.Н. Вентиляция. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов. 2008. 614 с.
13. Щекин Р.В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга вторая. Вентиляция и кондиционирование воздуха: 4-е изд., перераб. и доп. Киев: Будівельник, 1976. 416 с.
14. Таурит В.Р., Васильев В.Ф. Вентиляция в гражданских зданиях. Учебное пособие // СПб: АНТТ-Принт, 2008. 147 с.
15. Методические рекомендации по определению минимального воздухообмена в помещениях жилых и общественных зданий. Москва 2018 г. 62 с.
16. Бурназян А.И., Газенко О.Г. Справочник по космической биологии и медицине: 3-е изд., перераб. и доп. М.: Медицина. 1983. 352 с.
17. Human energy requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation Rome. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University Publ. 2004. 96 p.
18. Лобанов Д.В., Звенигородский И.И., Новосельцев Б.П., Кононова М.С. Обоснование учета комплекса физических параметров человека при проектировании систем вентиляции // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2022. № 1(20). С. 48–58.
19. Методические Рекомендации 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».
20. Покровский В. М., Коротько Г.Ф., Наточин Ю.В. Физиология человека (т.2) М.: Медицина. 1997. 368 с.
21. Turhan C., Gokcen Akkurt The relation between thermal comfort and human-body exergy consumption in a temperate climate zone // Energy and



Buildings. 2019. Vol. 205. 109548. DOI 10.1016/j.enbuild.2019.109548.

22. Mady C.E.K., Ferreira M.S., Yanagihara J.I., De Oliveira S. Human body exergy analysis and the assessment of thermal comfort conditions // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2014. Vol. 77. Pp. 577–584. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.05.039.

23. Yang B., Li X. Non-invasive (non-contact) measurements of human thermal physiology signals and thermal comfort/ discomfort poses - A review // Energy and Buildings. 2020. № 224. 110261.

24. Albuquerque-Neto C. Yanagihara J.I. A passive model of the heat, oxygen and carbon dioxide transport in the human body // ASME Interna-

tional Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings. Lake Buena Vista, FL. 2010. Pp. 155–166.

25. Prek M. Thermodynamic analysis of human heat and mass transfer and their impact on thermal comfort // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2005. Vol. 48. No. 3–4. Pp. 731–739. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.09.006.

26. Fanger P.O. Thermal Comfort. New York : McGraw-Hill Book Company, 1973. 244 p.

27. Svirin M.V., Kosilov D.M., Seminenko A.S. Dependence of the temperature of the beginning of the heating season on the energy efficiency class of the building // Journal of Physics: Conference Series. 2021. T. 1926. 012070.

#### Информация об авторах

**Лобанов Дмитрий Валерьевич**, старший преподаватель кафедры жилищно-коммунального хозяйства. E-mail: LDV-36@mail.ru. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». Россия, 394019, Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84.

**Звенигородский Игорь Иванович**, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры. E-mail: zvendocent@mail.ru. ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54 а.

**Свирин Максим Валерьевич**, инженер, аспирант кафедры теплогасоснабжения и вентиляции. E-mail: svirinmv@ua.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Сафонов Сергей Александрович**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры. E-mail: vgasu.gkh@gmail.com. ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54 а.

**Семиненко Артем Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогасоснабжения и вентиляции. E-mail: seminenko.as@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 14.09.2022 г.

© Лобанов Д.В., Звенигородский И.И., Свирин М.В., Сафонов С.А., Семиненко А.С., 2023

<sup>1,\*</sup>Lobanov D.V., <sup>2</sup>Zvenigorodskij I.I., <sup>3</sup>Svirin M.V., <sup>2</sup>Safonov S.A., <sup>3</sup>Seminenko A.S.

<sup>1</sup>Voronezh state technical University

<sup>2</sup>Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin

<sup>3</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

\*E-mail: LDV-36@mail.ru

## DETERMINATION OF HEAT GAIN FROM A PERSON, TAKING INTO ACCOUNT ENERGY CONSUMPTION AND PHYSICAL ACTIVITY

**Abstract.** The analysis of the current regulatory documents and reference and methodological literature used in carrying out calculations related to the determination of heat emissions from people engaged in various types of work is carried out. The incomplete correspondence of the values of heat emissions to the characteristics of the severity of the work performed for various types of activities, taking into account the age of people with their physique corresponding to normal body weight, was revealed. The calculated values of the coefficient of physical activity for a conditional person, as well as the values of heat emissions of men with their division by age categories, are determined. The graphs of energy expenditure for men of different ages performing the following types of work are presented: light (Ia, Ib), moderate (IIa, IIb), heavy. The obtained values of energy consumption are compared with the data of regulatory documents and reference literature for various categories of work. The relevance and necessity of taking into account data on heat emissions from

people, taking into account their age, anthropometric parameters and other conditions when designing microclimate systems, including personal and adaptive ventilation systems, is shown. The results of the study will be useful to design engineers implementing circuit solutions of microclimate systems that provide comfortable parameters of the air environment in rooms for various purposes.

**Keywords:** human energy consumption, heat release, physical parameters of a person, conditional person, average person, coefficient of physical activity.

## REFERENCES

1. Banhidi L. Thermal microclimate of premises [Тепловои` микроклимат помешчений]. M.: Stroyizdat, 1981. 248 p. (rus)
2. Gubernsky Yu.D., Shilkrot E.O. How much air does a person need for comfort? [Skol`ko vozduha nuzhno cheloveku dlia komforta?]. AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics. 2008. No. 4. Pp. 4–12. (rus)
3. Norms of air exchange: discussion of specialists [Normy` vozduhoobmena: diskussiiia spetsialistov]. AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics. 2019. No. 8. Pp. 32–39. (rus)
4. Ustinov V.V. Determination of the minimum outdoor air consumption in the design of ventilation systems [Opredelenie minimal`nogo rashoda naruzhnogo vozduha pri proektirovanii sistem ventilatsii]. AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics. 2016. No.6. Pp. 36–44. (rus)
5. Deshko V., Buyak N. A model of human thermal comfort for analysing the energy performance of buildings. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 4. No. 8(82). Pp. 42–48. DOI:10.15587/1729-4061.2016.74868.
6. Zvenigorodsky I., Lobanov D., Mershchiyev A., Sheps R. Carbon dioxide as the main hazard in the design of personal ventilation systems. E3S Web of Conferences. Rostov-on-Don. 2020. Pp. 11018. DOI:10.1051/e3sconf/202017511018.
7. Lobanov D.V., Mershchiev A.A., Soloviev S.A. Systems of personal energy-saving ventilation of office premises [Sistemy` personal`noi` e`nergoberegaiushchei` ventilatsii ofisny`kh pomeshchenii`]. Housing and communal infrastructure. 2017. No. 3(2). Pp. 60–69. (rus)
8. Adaptive ventilation systems: promising areas of development [Sistemy` adaptivnoi` ventilatsii: perspektivny`e napravleniia razvitiia]. AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics. 2011. No. 7. Pp. 30–33. (rus)
9. Human physiology [Fiziologiiia cheloveka]: edited by G. I. Kositsky. M.: Medicine. 1985. 544 p. (rus)
10. Stomaxina G.I., Bobroviczkiy I.I., Mal'yavina E.G., Plotnikova L.V. Heating, ventilation and air conditioning: Residential buildings with built-in attached public spaces and parking lots. Cottages: Reference manual [Otoplenie, ventilatsiia i konditsionirovanie vozduha: Zhily'e zdaniia so vstroenno-pristroenny`mi pomeshcheniiami obshchestvennogo naznacheniiia i stoiankami avtomobilei`. Kottedzhi: Spravochnoe posobie]. M.: Pantori, 2003. 308 p. (rus)
11. Titov V.P. Course and diploma design for ventilation of industrial buildings [Kursovoe i diplomnoe proektirovanie po ventilatsii promy`shlenny`kh zdanii`]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 208 p. (rus)
12. Kamenev P.N., Tertchnik E.N. Ventilation [Ventilatsiia]. M.: Publishing House Assoc. builds. universities. 2008. 614 p. (rus)
13. Shchekin R.V. Handbook of heat supply and ventilation. Book two. Ventilation and air conditioning [Spravochnik po teplosnabzheniiu i ventilatsii. Kniga vtoraiia. Ventilatsiia i konditsionirovanie vozduha]. Kiev: Budivelnik, 1976. 416 p. (rus)
14. Taurit V.R., Vasiliev V.F. Ventilation in civil buildings. Textbook [Ventilatsiia v grazhdanskikh zdaniakh. Uchebnoe posobie]. St. Petersburg: ANTT-Print, 2008. 147 p. (rus)
15. Methodological recommendations for determining the minimum air exchange in residential and public buildings [Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniiu minimal`nogo vozduhoobmena v pomeshcheniakh zhily`kh i obshchestvenny`kh zdanii`]. M., 2018 62 p. (rus)
16. Burnazyan A.I., Gizenko O.G. Handbook of Space Biology and [Spravochnik po kosmicheskoi` biologii i medicine] M.: Medicine. 1983. 352 p. (rus)
17. Human energy requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation Rome. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations University Publ. 2004. 96 p.
18. Lobanov D.V., Zvenigorodsky I.I., Novoseltsev B.P., Kononova M.S. Justification of taking into account the complex of physical parameters of a person when designing ventilation systems [Obosnovanie ucheta kompleksa fizicheskikh parametrov cheloveka pri proektirovanii sistem ventilatsii]. Housing and communal infrastructure. 2022. No. 1(20). Pp. 48–58. (rus)
19. Methodological Recommendations 2.3.1.0253-21 "Norms of physiological needs for energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation" [Normy` fiziologicheskikh

potrebnosti` v e`nergii i pishchevy`kh veshchestvakh dlia razlichny`kh grupp naseleniia Rossii`skoi` Federatsii]. (rus)

20. Pokrovsky V.M., Korotko G.F., Natochin Yu.V. Human physiology [Fiziologiya cheloveka] vol.2 M.: Medicine. 1997. 368 p. (rus)

21. Turhan C., Gokcen Akkurt G. The relation between thermal comfort and human-body exergy consumption in a temperate climate zone. Energy and Buildings. 2019. Vol. 205. 109548. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109548.

22. Mady C.E.K., Ferreira M.S., Yanagihara J.I., De Oliveira S. Human body exergy analysis and the assessment of thermal comfort conditions. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2014. Vol. 77. Pp. 577–584. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.05.039.

23. Yang B., Li X. Non-invasive (non-contact) measurements of human thermal physiology signals and thermal comfort/ discomfort poses - A review.

Energy and Buildings. 2020. № 224. 110261.

24. Albuquerque-Neto C. Yanagihara J.I. A passive model of the heat, oxygen and carbon dioxide transport in the human body. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings. Lake Buena Vista, FL. 2010. Pp. 155–166.

25. Prek M. Thermodynamic analysis of human heat and mass transfer and their impact on thermal comfort. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2005. Vol. 48. No. 3-4. Pp. 731–739. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.09.006.

26. Fanger P.O. Thermal Comfort. New York. McGraw-Hill Book Company, 1973. 244 p.

27. Svirin M.V., Kosilov D.M., Seminenko A. S. Dependence of the temperature of the beginning of the heating season on the energy efficiency class of the building. Journal of Physics: Conference Series. 2021. T. 1926. 012070.

#### *Information about the authors*

**Lobanov, Dmitry V.** Senior Lecturer. E-mail: LDV-36@mail.ru. Voronezh state technical University. Russia, 394019, Voronezh, 20 letiya Oktyabrya str., 84.

**Zvenigorodsky, Igor I.** PhD, Assistant professor. E-mail: zvendocent@mail.ru. Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. Russia, 394064, Voronezh, st. Old Bolsheviks, 54 a.

**Svirin, Maxim V.** Postgraduate student. E-mail: svirinmv@ya.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Safonov, Sergey A.** PhD, Assistant professor. E-mail: vgasu.gkh@gmail.com. Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. Russia, 394064, Voronezh, st. Old Bolsheviks, 54 a.

**Semenenko, Artem S.** PhD, Assistant professor. E-mail: seminenko.as@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 14.09.2022*

#### **Для цитирования:**

Лобанов Д.В., Звенигородский И.И., Свиринов М.В., Сафонов С.А., Семиненко А.С. Определение теплопоступлений от человека с учетом энерготрат и физической активности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 1. С. 42–52. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-42-52

#### **For citation:**

Lobanov D.V., Zvenigorodskij I.I., Svirin M.V., Safonov S.A., Seminenko A.S. Determination of heat gain from a person, taking into account energy consumption and physical activity. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 1. Pp. 42–52. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-42-52