

## ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА ДЕТЕЙ В ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Свирин М.В., Семиненко А.С.

БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород

### Аннотация

В расчете теплового комфорта детей важно учитывать внутренние тепловыделения, одним из основных источников которого являются сами дети (теплообмен с поверхностью тела, дыхание, потоотделение). На точность расчёта влияет их количество, характер и интенсивность деятельности, возраст, пол и другие параметры. В большинстве нормативных документов расчет теплоступлений ведется относительно человека со следующими параметрами: мужчина, 20-30 лет, 70 кг, живет в умеренном климате. Такой подход не позволяет учесть физиологические и возрастные особенности отдельных возрастных групп. Рассматриваются и уточняются вопросы физиологических показателей детей и использование моделей для численного отражения уровня теплового комфорта в помещении. Предложен расчет с совместным использованием уточненных физиологических показателей детей и оценкой теплоощущения внутреннего микроклимата через определение прогнозируемой средней оценки (PMV) и прогнозируемого процента недовольных (PPD). Проведен расчет нескольких случаев микроклиматических режимов, проведена оценка состояния детей разных возрастов и степени физической активности в рассмотренных параметрах микроклимата. Проанализировав полученные данные, сделан вывод о том, что оценка комфортности человека с использованием уточненных энергетических трат позволяет более гибко рассматривать тепловые состояния детей отдельных возрастных групп, что даёт возможность более качественного регулирования внутреннего микроклимата конкретного помещения с учетом рассмотренных факторов.

**Ключевые слова:** тепловыделения, дошкольные учреждения, микроклимат, умственный труд, тепловой комфорт, тепловой режим, уровень комфортности, жилые здания, общественные здания.

## ASSESSMENT OF THERMAL COMFORT FOR CHILDREN IN RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS

Maxim Svirin, Artem Seminenko

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod

### Abstract

In calculating children's thermal comfort, it is important to consider internal heat emissions, one of the main sources of which are the children themselves (heat exchange with the body surface, breathing, sweating). The accuracy of the calculation is influenced by their number, nature and intensity of activity, age, gender, and other parameters. Most regulatory documents base heat input calculations on a person with the following parameters: male, 20-30 years old, 70 kg, living in a temperate climate. This approach does not account for the physiological and age-specific characteristics of different age groups. The paper examines and refines the physiological parameters of children and uses models to numerically reflect the level of thermal comfort in a room. A calculation method is proposed that uses refined physiological parameters of children and evaluates thermal sensation of the indoor microclimate through the determination of Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage Dissatisfied (PPD). Calculations of several microclimatic regimes were carried out, assessing the state of children of different ages and



*physical activity levels within the considered microclimate parameters. Analyzing the obtained data led to the conclusion that assessing human comfort using refined energy expenditures allows for a more flexible consideration of the thermal states of children in specific age groups. This enables higher quality regulation of the indoor microclimate of a specific room considering the examined factors.*

**Keywords:** *heat emissions, preschool institutions, microclimate, mental work, thermal comfort, thermal regime, comfort level, residential buildings, public buildings.*

## Введение

Тепловой комфорт - индикатор удовлетворенности людей микроклиматом в помещении, в которых они находятся. Комфортный микроклимат позволяет людям чувствовать себя удобно в здании, поскольку не происходит перенапряжения терморегуляции организма [1].

Оценка комфорта детей в зданиях может включать в себя измерение температуры, влажности, освещенности и шума, а также анализ внешних факторов, таких как конструктивные особенности и материалы здания [2-3]. Это может включать использование инструментов, таких как термометры и гигрометры, а также опросы жителей об их ощущениях в здании [4].

Оценка теплового комфорта отдельных возрастных групп позволяет более точно оценить качество микроклимата и улучшить его [5-6]. Важной возрастной группой для исследования являются дети. Проблема является актуальной в связи с тем, что комфортные условия могут повлиять на здоровье, производительность и удовлетворенность жизнью [7]. Важно учитывать, что дети более чувствительны к микроклимату и могут быстрее реагировать на возникновение его локальных ухудшений, чем взрослые [8].

В расчете теплового комфорта детей важно учитывать внутренние тепловыделения, одним из основных источников которого являются сами дети (теплообмен с поверхностью тела, дыхание, потоотделение) [9-11]. На точность расчёта влияет их количество, характер и интенсивность деятельности, возраст, пол и другие параметры.

В большинстве нормативных документов расчет тепlopоступлений ведется относительно человека со следующими параметрами: мужчина, 20-30 лет, 70 кг, живет в умеренном климате. Такой подход не позволяет учесть физиологические и возрастные особенности отдельных возрастных групп [12].

Уточнение значений тепловыделений от детей с учетом вышеописанных параметров стало целью исследования в публикации [13]. Анализ нормативных документов выявил различие используемых при расчете данных.

Различия в весе, росте, физической активности и образовании новых тканей влияют на потребность в энергии в виде пищи, которая обеспечивает тепловой баланс организма, что как следствие влияет на тепловыделение [14-15]. С учетом возрастной периодизации детского населения появляется возможность получить усредненные физиологические характеристики организма на всем этапе взросления.

**Цель работы.** Оценка различий восприятия параметров микроклимата детьми разных возрастов и занимающихся различными видами деятельности.

### Задачи:

1. Определение энергетических затрат детей в зависимости от возраста и видов деятельности;
2. Расчет индексов теплового комфорта детей при различных параметрах внутреннего микроклимата;
3. Обработка полученных данных;
4. Описание выявленных закономерностей.



## Материалы и методы

Оценка теплового комфорта детей в помещении может включать в себя использование следующих материалов и методов исследования [16-18]:

1. Исследование влияния метеорологических данных: температура, влажность, скорость воздуха и другие погодные условия, которые могут влиять на тепловой комфорт внутри помещения.

2. Исследование физических параметров: анализ тепло- и влагоотдачи в помещении, температуры воздуха и ограждающих поверхностей.

3. Опросы и интервью: опрос респондентов об их ощущениях теплового комфорта и их оценке условий в помещении.

4. Использование моделей теплового комфорта: численные модели, которые могут быть использованы для оценки теплового комфорта в помещении.

5. Исследование физиологических показателей: температуры тела, терморегуляции организма, влагоотдачи, теплоотдачи и др.

В рамках данной работы рассматриваются и уточняются вопросы физиологических показателей детей и использование моделей для численного отражения уровня теплового комфорта в помещении.

Согласно МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1. «Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021) в работе [13] были рассчитаны энергетические траты детей при умственной нагрузке (или состоянии покоя) и легкой работе.

Энергетические траты детей при умственном и легком труде следует принять как тепловыделения из-за малого КПД данных видов деятельности. Это связано с тем, что выделение тепла происходит при метаболической активности организма, а в процессе умственной или легкой физической активности метаболизм задействован [19-20]. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Энергетические траты детей при умственной и легкой видах работ

Возраст, лет	Энергетические траты, Вт/м <sup>2</sup>			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	88,70	93,54	102,09	106,67
4	81,79	89,86	93,69	101,64
5	78,21	87,10	88,99	99,15
6	77,09	83,54	88,28	95,83
7	76,98	82,64	87,32	93,96
8	75,25	80,74	85,85	92,27
9	74,04	78,99	83,79	90,69
10	71,59	78,01	82,33	88,90
11	66,51	73,48	76,36	84,46
12	65,59	73,32	74,64	84,24
13	63,86	71,44	72,98	81,44
14	62,65	69,25	71,31	79,05
15	62,65	68,05	71,69	77,77
16	62,16	68,73	70,40	78,55
17	61,54	69,85	70,33	79,91



По мере взросления детей наблюдается рост энергетических затрат год к году с замедлением в период 10-11 лет. Энерготраты мальчиков выше, чем девочек, при этом самые высокие энерготраты наблюдаются при легкой работе. Из особенностей зависимости можно отметить, что энерготраты в возрасте 5 лет у мальчиков в состоянии покоя и девочек при легкой работе почти равны. При этом рост энерготрат девочек при легкой работе замедляется с 13 лет, начиная с 14,5 лет энерготраты мальчиков в состоянии покоя выше энерготрат девочек при легкой работе.

Рассмотрим определение теплового комфорта человека с помощью методики П.О. Фангера. На данный момент подобная оценка базируется на исследованиях [21], основанных на уравнении теплового баланса между телом человека и окружающей его средой:

$$M + W - E - RES = K_{cl} + R + C, \quad (1)$$

где  $M$  – скорость метаболизма человека, Вт/м<sup>2</sup>;  $W$  – теплообмен в результате внешней работы, Вт/м<sup>2</sup>;  $E$  – теплообмен в результате испарения пота, Вт/м<sup>2</sup>;  $RES$  – теплообмен в результате дыхания, Вт/м<sup>2</sup>;  $K_{cl}$  – кондуктивный теплообмен через одежду, Вт/м<sup>2</sup>;  $R$  – лучистый теплообмен, Вт/м<sup>2</sup>;  $C$  – конвективный теплообмен, Вт/м<sup>2</sup>.

Оценка теплового комфорта основана на расчете прогнозируемой средней оценки ( $PMV$ ) и прогнозируемого индекса процента недовольных ( $PPD$ ).

Прогнозируемая средняя оценка ( $PMV$ ) – индекс, предназначенный для прогнозирования среднего значения голосов группы жителей по семибалльной шкале температурных ощущений.  $PMV$  вычисляется на основе различных физиологических и метеорологических параметров, таких как температура, влажность, давление и т.д.

Значение  $PMV = 0$  означает идеальное состояние теплового равновесия, когда внутреннее тепловыделение человека равно его теплопотере,  $PMV = +3$  показывает состояние «слишком жарко»,  $PMV = -3$  – состояние «слишком холодно» (табл. 2).

Таблица 2

### Шкала чувствительности к температуре

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

С помощью  $PMV$  есть возможность предугадать тепловое ощущение группы жильцов, но этого параметра недостаточно. Также необходимо учитывать уровень удовлетворенности находящихся в помещении людей, чтобы получить более полное представление о результатах работы над микроклиматом здания [22]. Для этого П.О. Фангер (Povl Ole Fanger) разработал дополнительное уравнение, которое отражает зависимость  $PMV$  с прогнозируемым процентом недовольных ( $PPD$ ).

Прогнозируемый процент недовольных ( $PPD$ ) – параметр, который отражает уровень удовлетворенности находящихся в помещении людей условиями микроклимата.  $PPD$  вычисляется на основе теплового ощущения группы людей, представленного в виде  $PMV$ .  $PPD$  выражается в процентах и показывает, какой процент людей не удовлетворен условиями микроклимата. Причинами локального дискомфорта чаще всего являются сквозняки, высокие перепады температур в частях тела, низкая или высокая температура пола и т.д. [23-24]. Согласно ISO 7730,  $PPD$  не должен превышать 20%.

Зависимость показателя  $PPD$  от  $PMV$  отражается в формуле (2):

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



Для расчета необходимо учитывать следующие параметры:

а) параметры окружающей среды:

- температуру воздуха в помещении;
- среднюю температуру окружающих поверхностей;
- влажность воздуха;
- скорость воздуха;

б) личные факторы:

- скорость метаболизма, которая может изменяться в зависимости от уровня активности человека. Единицей измерения метаболизма является 1 мет = 58 Вт/м<sup>2</sup>, что соответствует энергии, вырабатываемой на единицу площади поверхности среднестатистического здорового человека, находящегося в состоянии покоя или сидячем положении. В стандартах указаны значения скорости метаболизма для различных видов деятельности;

- уровень теплоизоляции одежды человека – единицей измерения принимается 1 clo = 0,155 м<sup>2</sup>·К/Вт, что соответствует комплекту одежды из брюк, рубашки с длинными рукавами и куртки. В стандартах указаны значения теплоизоляции как готовых комплектов одежды под различные жизненные ситуации, так и отдельных её элементов.

### Результаты и обсуждение

В качестве исходных данных примем следующие значения окружающей среды согласно средним значениям, рекомендуемым ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» для детских дошкольных учреждений на летний период:

- температура внутреннего воздуха  $t_{\text{возд}} = 24^{\circ}\text{C}$ ;
- средняя температура окружающих поверхностей  $t_{\text{пов}} = 23^{\circ}\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ ;
- скорость воздуха  $V_{\text{возд}} = 0,1$  м/с;

- теплоизоляция комплекта одежды  $I_{cl} = 0,5$  кло (соответствует комплекту одежды теплого сезона согласно ГОСТ Р ИСО 7730-2009, рекомендованному для расчёта). Пример комбинации одежды данной теплоизоляции: трусы, длинные легкие брюки, рубашка с открытой шеей и короткими рукавами, легкие носки и ботинки.

Применим данные, полученные в табл. 1, для расчета показателей. Полученные данные индекса теплового комфорта (PMV) представлены в табл. 3.

Таблица 3

### Результаты расчёта индекса теплового комфорта (PMV)

Возраст, лет	PMV, балл			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	-1,5	-1,09	-0,81	-0,6
4	-1,29	-0,81	-0,7	-0,42
5	-1	-0,6	-0,55	-0,23
6	-0,76	-0,46	-0,34	-0,09
7	-0,51	-0,26	-0,16	0,06
8	-0,34	-0,12	0	0,19
9	-0,16	0	0,14	0,31
10	-0,03	0,14	0,28	0,41
11	0	0,16	0,31	0,45



Окончание табл. 3

12	0,16	0,33	0,43	0,61
13	0,26	0,45	0,53	0,72
14	0,33	0,57	0,59	0,84
15	0,39	0,68	0,66	0,96
16	0,41	0,81	0,66	1,1
17	0,41	0,91	0,68	1,22

Согласно полученным данным, можно сделать вывод о том, что состояние, близкое к термодинамическому равновесию, при принятых параметрах микроклимата наблюдается у детей 7-11 лет. Дети остальных возрастов будут ощущать некоторое состояние дискомфорта (согласно методике, состояния «немного тепло» или «немного прохладно»). Особенный дискомфорт испытывают девочки 3-7 лет в состоянии покоя и мальчики 12-17 лет в состоянии легкой работы.

Полученные данные показателя прогнозируемого процента недовольных (*PPD*) представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Результаты расчёта прогнозируемого процента недовольных (*PPD*)**

Возраст, лет	PPD, %			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	51,1	30,08	18,93	12,61
4	39,68	18,93	15,42	8,69
5	26,01	12,61	11,44	6,06
6	17,08	9,49	7,39	5,17
7	10,4	6,43	5,51	5,07
8	7,39	5,31	5	5,74
9	5,51	5	5,39	6,95
10	5,02	5,39	6,67	8,57
11	5	5,55	6,95	9,31
12	5,55	7,24	8,94	12,78
13	6,41	9,31	10,95	15,85
14	7,24	11,84	12,31	19,92
15	8,22	14,78	14,26	24,51
16	8,57	18,7	14,26	30,38
17	8,57	22,48	14,78	36,04

Минимальный процент недовольных внутренним микроклиматом (5-10%) наблюдается у детей в возрасте 8-10 лет, максимальный *PPD* (51,1%) - у девочек 3 лет в состоянии покоя или умственной деятельности.

Однако для детей, относящихся к категории школьников, справедливо использовать следующие исходные данные:

- Температура внутреннего воздуха  $t_{возд} = 20^{\circ}\text{C}$ ;
- Средняя температура окружающих поверхностей  $t_{нов} = 20^{\circ}\text{C}$ ;
- Относительная влажность воздуха  $\varphi = 50\%$ ;
- Скорость воздуха  $V_{возд} = 0,1 \text{ м/с}$ ;
- Теплоизоляция комплекта одежды  $I_{cl} = 0,5 \text{ кло.}$



Полученные данные индекса теплового комфорта (*PMV*) представлены в табл. 5.

Таблица 5

### Результаты расчёта индекса теплового комфорта (*PMV*)

Возраст, лет	PMV, балл			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	-2,96	-2,43	-2,04	-1,74
4	-2,68	-2,04	-1,89	-1,48
5	-2,3	-1,74	-1,67	-1,2
6	-1,96	-1,54	-1,36	-1,01
7	-1,61	-1,25	-1,1	-0,8
8	-1,36	-1,06	-0,88	-0,62
9	-1,1	-0,88	-0,69	-0,46
10	-0,92	-0,69	-0,49	-0,32
11	-0,88	-0,66	-0,46	-0,26
12	-0,66	-0,43	-0,29	-0,07
13	-0,52	-0,26	-0,16	0,06
14	-0,43	-0,12	-0,09	0,21
15	-0,35	0,02	0	0,35
16	-0,32	0,17	0	0,5
17	-0,32	0,29	0,02	0,63

Полученные данные показателя прогнозируемого процента недовольных (*PPD*) представлены в табл. 6.

Таблица 6

### Результаты расчёта прогнозируемого процента недовольных (*PPD*)

Возраст, лет	PPD, %			
	Состояние покоя/умственная деятельность		Легкая работа	
	Девочки	Мальчики	Девочки	Мальчики
3	98,92	91,73	78,65	63,97
4	96,5	78,65	71,39	49,88
5	88,4	63,97	60,3	35,39
6	75,07	53,24	43,62	26,59
7	56,71	37,97	30,7	18,57
8	43,62	28,57	21,43	13,08
9	30,7	21,43	15,02	9,43
10	23,02	15,02	10,05	7,1
11	21,43	14,01	9,43	6,45
12	14,01	8,88	6,76	5,1
13	10,71	6,45	5,55	5,09
14	8,88	5,28	5,17	5,91
15	7,48	5,01	5	7,51
16	7,1	5,59	5	10,2
17	7,1	6,74	5,01	13,28



Минимальный прогнозируемый процент наблюдается у детей 12-17 лет, при этом дети меньших возрастов будут недовольны расчетным состоянием микроклимата. Особенно острой является ситуация для детей 3-7 лет.

Проанализировав полученные данные, можно отметить, что оценка комфортности человека с использованием полученных данных энергетических трат позволяет более гибко рассматривать тепловые состояния детей отдельных возрастных групп, что даёт возможность более качественного регулирования внутреннего микроклимата конкретного помещения с учетом рассмотренных факторов.

### Выводы

Величина энергетических трат и теплопоступлений в детской активности зависит не только от типа выполняемой работы, но и от уровня физической формы и физического развития детей. Уточненные значения энергозатрат отличаются от нормативных в широком диапазоне, что подтверждает необходимость разделения детей на различные группы в процессе расчёта для более точного проектирования систем микроклимата для зданий с пребыванием детей.

Методика, разработанная П.О. Фангером, в сочетании с современными методами расчета, может помочь выбрать наиболее подходящие параметры микроклимата для конкретного здания, учитывая его назначение, климатические условия и конструктивные особенности. Продолжение исследований в этой области позволит разработать рекомендации по использованию методики определения теплового комфорта при проектировании и реконструкции многоквартирных домов и общественных зданий.

### Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

### Библиографический список

1. Определение теплопоступлений от человека с учетом энерготрат и физической активности / Д.В. Лобанов, И.И. Звенигородский, М.В. Свиринов и др. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – №1. – С. 42-52. EDN: [КАТААУ](#). DOI: [10.34031/2071-7318-2022-8-1-42-52](#)
2. Zolfaghari A., Maerefat M. A new simplified thermoregulatory bioheat model for evaluating thermal response of the human body to transient environments // Building and Environment. – 2010. – Vol. 45, Issue 10. – P. 2068-2076. DOI: [10.1016/j.buildenv.2010.03.002](#)
3. 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). – P. 42–48. DOI: [10.15587/1729-4061.2016.74868](#)
4. Carbon dioxide as the main hazard in the design of personal ventilation systems / I. Zvenigorodsky, D. Lobanov, A. Mershchuyev, R. Sheps // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 175. – P. 11018. DOI: [10.1051/e3sconf/202017511018](#)
5. Turhan C., Akkurt G. The relation between thermal comfort and human-body exergy consumption in a temperate climate zone // Energy and Buildings. – 2019. – Vol. 205. – P. 109548. DOI: [10.1016/j.enbuild.2019.109548](#)
6. Свиринов М.В. Исследование влияния ненормативной внутренней температуры помещения на тепловой комфорт в переходный период с использованием индексов PMV и PPD // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 3(22). – С. 28-38. EDN: [OCGIRM](#)
7. Human body exergy analysis and the assessment of thermal comfort conditions / С.Е.К. Mady, M.S. Ferreira, J.I. Yanagihara, S. De Oliveira // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – Vol. 77. – P. 577–584. DOI: [10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.05.039](#)
8. 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. – Vol. 224. – P. 110261. DOI: [10.1016/j.enbuild.2020.110261](#)



9. Yao R., Schweiker M., Olesen B.W., Toftum J. Evolution and performance analysis of adaptive thermal comfort models – Acomprehensive literature review // *Building and Environment*. – 2022. – Vol. 217. – P. 109020. DOI: [10.1016/j.buildenv.2022.109020](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109020)
10. Перехоженцев А.Г. Тепловой комфорт в помещении – основа нормирования теплозащиты зданий. Предложения по совершенствованию норм по теплозащите зданий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. – 2020. – № 4(81). – С. 227-236. EDN: [HICONS](https://www.edn.ru/HICONS)
11. Ruz M.L., Garrido J., Vazquez F. Educational tool for the learning of thermal comfort control based on PMV-PPD indices // *Computer Applications in Engineering Education*. – 2018. – Vol. 4. – P. 906-917. DOI: [10.1002/cae.21934](https://doi.org/10.1002/cae.21934)
12. Korsavi S.S., Montazami A. Children’s thermal comfort and adaptive behaviours; UK primary schools during non-heating and heating seasons // *Energy and Buildings*. – 2020. – Vol. 214. – P. 109857. DOI: [10.1016/j.enbuild.2020.109857](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109857)
13. Уточнение тепло-, газовыделений от детей при проектировании систем микроклимата / Д.В. Лобанов, М.С. Кононова, Ю.А. Воробьева, А.А. Мерциев // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. – 2022. – № 2(21). – С. 38-48. EDN: [JHNJQH](https://www.edn.ru/JHNJQH). DOI: [10.36622/VSTU.2022.21.2.004](https://doi.org/10.36622/VSTU.2022.21.2.004)
14. Wargocki P., Wyon D. Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective // *Building and Environment*. – 2013. – Vol. 59. – P. 581-589. DOI: [10.1016/j.buildenv.2012.10.007](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007)
15. Расчетное обоснование параметров микроклимата с заданным уровнем теплового комфорта / А.Б. Сулин, Т.В. Рябова, С.В. Иванов, Р.А. Поддубный // *Холодильная техника*. – 2017. – № 4. – С. 37-41. EDN: [ZRTQBV](https://www.edn.ru/ZRTQBV)
16. Martins L. A., Soebarto V., Williamson T. A systematic review of personal thermal comfort models // *Building and Environment*. – 2022. – Vol. 207. – P. 108502. DOI: [10.1016/j.buildenv.2021.108502](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108502)
17. Using machine learning algorithms to predict occupants’ thermal comfort in naturally ventilated residential buildings / Q. Chai, H. Wang, Y. Zhai, L. Yang // *Energy and Buildings*. – 2020. – Vol. 217. – P. 109937. DOI: [10.1016/j.enbuild.2020.109937](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109937)
18. Advancement on Thermal Comfort in Educational Buildings: Current Issues and Way Forward / G. Lamberti, G. Salvadori, F. Leccese et al. // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13. – P. 10315. DOI: [10.3390/su131810315](https://doi.org/10.3390/su131810315)
19. Teli D., James P.A., Jentsch M.F. Thermal comfort in naturally ventilated primary school classrooms // *Building Research and Information*. – 2013. – Vol. 41. – P. 301-316. DOI: [10.1080/09613218.2013.773493](https://doi.org/10.1080/09613218.2013.773493)
20. Dorizas P., Assimakopoulos M., Santamouris M. A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2015. – Vol. 187. – P. 259. DOI: [10.1007/s10661-015-4503-9](https://doi.org/10.1007/s10661-015-4503-9)
21. Thermal performance evaluation of school buildings using a children-based adaptive comfort model / D. Teli, L. Bourikas, P.A. James, A.S. Bahaj // *Procedia Environmental Sciences*. – 2017. – Vol. 38. – P. 844-851. DOI: [10.1016/j.proenv.2017.03.170](https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.170)
22. Impact of social background and behaviour on children’s thermal comfort / A. Montazami, M. Gaterell, F. Nicol et al. // *Building and Environment*. – 2017. – Vol. 122. – P. 422-434. DOI: [10.1016/j.buildenv.2017.06.002](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.002)
23. Katic K., Li R., Zeiler W. Machine learning algorithms applied to a prediction of personal overall thermal comfort using skin temperatures and occupants’ heating behavior // *Applied Ergonomics*. – 2020. – Vol. 85. – P. 103078. DOI: [10.1016/j.apergo.2020.103078](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103078)
24. PersonalisedComfort: A personalised thermal comfort model to predict thermal sensation votes for smart building residents / S. Rehman, A. Javed, M. Khan et al. // *Enterprise Information Systems*. – 2020. – Vol. 16. – P. 1852316. DOI: [10.1080/17517575.2020.1852316](https://doi.org/10.1080/17517575.2020.1852316)

## References

1. Lobanov, D., Zvenigorodsky, I., Svirin, M., Safonov, S., & Seminenko, A. (2023). Determination of heat input from a person taking into account energy costs and physical activity. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*, 8(1), 42-52. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-8-1-42-52> [In Russian].



2. Zolfaghari, A., & Maerefat, M. (2010). A new simplified thermoregulatory bioheat model for evaluating thermal response of the human body to transient environments. *Building and Environment*, 45(10), 2068-2076. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.03.002>
3. Dешко, V., & Buyak, N. (2016). A model of human thermal comfort for analysing the energy performance of buildings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(8), 42-48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.74868>
4. Zvenigorodsky, I., Lobanov, D., Mershchiyev, A., & Sheps, R. (2020). Carbon dioxide as the main hazard in the design of personal ventilation systems. *E3S Web of Conferences*, 175, 11018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017511018>
5. Turhan, C., & Akkurt, G. (2019). The relation between thermal comfort and human-body exergy consumption in a temperate climate zone. *Energy and Buildings*, 205, 109548. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109548>
6. Svirin, M. V. (2022). Study of the influence of non-normative interior room temperature on thermal comfort in the transition period using PMV and PPD indices. *Housing and utilities infrastructure*, 3 (22), 28-38 [In Russian].
7. Mady, C., Ferreira, M. S., Yanagihara, J., & De Oliveira, S. (2014). Human body exergy analysis and the assessment of thermal comfort conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 77, 577-584. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.05.039>
8. Yang, B., & Li, X. (2020). Non-invasive (non-contact) measurements of human thermal physiology signals and thermal comfort/discomfort poses - A review. *Energy and Buildings*, 224, 110261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110261>
9. Yao, R., Schweiker, M., Olesen, B., & Toftum, J. (2022). Evolution and performance analysis of adaptive thermal comfort models – A comprehensive literature review. *Building and Environment*, 217, 109020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109020>
10. Perekhozhentsev, A. G. (2020). Indoor thermal comfort is the basis for rating the heat protection of buildings. Proposals on enhancing the standards of thermal protection of buildings. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 4 (81), 227-236 [In Russian].
11. Ruz, M., Garrido, J., & Vazquez, F. (2018). Educational tool for the learning of thermal comfort control based on PMV-PPD indices. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(4), 906-917. <https://doi.org/10.1002/cae.21934>
12. Korsavi, S., & Montazami, A. (2020). Children's thermal comfort and adaptive behaviours; UK primary schools during non-heating and heating seasons. *Energy and Buildings*, 214, 109857. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109857>
13. Lobanov, D., Kononova, M., Vorobyeva, Y., & Mershchiev, A. (2022). Clarification of heat and gas emissions from children in the design of microclimate systems. *Zhilishchnoe khozyaystvo i kommunalnaya infrastruktura*, 2 (21), 38-48. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2022.21.2.004> [In Russian].
14. Wargocki, P., Wyon, D. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, 59, 581-589. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007>
15. Sulin, A., Ryabova, T., Ivanov, S., & Poddubny, R. (2017). Raschetnoye obosnovaniye parametrov mikroklimate s zadannym urovenem teplovogo komforta [Calculation justification of microclimate parameters with a given level of thermal comfort]. *Kholodil'naya tekhnika*, 4, 37-41. [In Russian].
16. Martins, L. A., Soebarto, V., & Williamson, T. (2022). A systematic review of personal thermal comfort models. *Building and Environment*, 207, 108502. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108502>
17. Chai, Q., Wang, H., Zhai, Y., & Yang, L. (2020). Using machine learning algorithms to predict occupants' thermal comfort in naturally ventilated residential buildings. *Energy and Buildings*, 217, 109937. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109937>
18. Lamberti, G., Salvadori, G., Leccese, F., Fantozzi, F., & Bluysen, P. (2021). Advancement on Thermal Comfort in Educational Buildings: Current Issues and Way Forward. *Sustainability*, 13, 10315. <https://doi.org/10.3390/su131810315>



19. Teli, D., James, P., & Jentsch, M. (2013). Thermal comfort in naturally ventilated primary school classrooms. *Building Research and Information*, 41(3), 301-316. <https://doi.org/10.1080/09613218.2013.773493>
20. Dorizas, P., Assimakopoulos, M., & Santamouris, M. (2015). A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 259. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4503-9>
21. Teli, D., Bourikas, L., James, P., & Bahaj, A. (2017). Thermal performance evaluation of school buildings using a children-based adaptive comfort model. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 844-851. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.170>
22. Montazami, A., Gaterell, M., Nicol, F., Lumley, M., & Thoua, C. (2017). Impact of social background and behaviour on children's thermal comfort. *Building and Environment*, 122, 422-434. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.002>
23. Katic, K., Li, R., & Zeiler, W. (2020). Machine learning algorithms applied to a prediction of personal overall thermal comfort using skin temperatures and occupants' heating behavior. *Applied Ergonomics*, 85, 103078. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103078>
24. Rehman, S., Javed, A., Khan, M., Awan, M., Farukh, A., & Hussien, A. (2020). PersonalisedComfort: A personalised thermal comfort model to predict thermal sensation votes for smart building residents. *Enterprise Information Systems*, 16, 1852316. <https://doi.org/10.1080/17517575.2020.1852316>

### Сведения об авторах

**Свирин Максим Валерьевич**, инженер, кафедра теплогазоснабжения и вентиляция, БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, [svirinmv@ya.ru](mailto:svirinmv@ya.ru), SPIN-код: [6420-7780](https://orcid.org/0009-0006-0761-3282).

*М.В. Свирин обучался на кафедре Энергетики теплотехнологии по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника», в 2017 году с отличием закончил образовательную программу бакалавриата, а в 2019 г. так же с отличием – программу магистратуры. Поступил и закончил аспирантуру на кафедре ТГВ по направленности «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» (научн. рук. А.С. Семиненко).*

**Семиненко Артём Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра теплогазоснабжения и вентиляция, БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, [seminenko.as@gmail.com](mailto:seminenko.as@gmail.com), SPIN-код: [4418-7366](https://orcid.org/0000-0002-0581-4391).

### Authors about

**Maxim Svirin**, Engineer, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, BSTU named after V.G. Shukhov, [svirinmv@ya.ru](mailto:svirinmv@ya.ru), ORCID [0009-0006-0761-3282](https://orcid.org/0009-0006-0761-3282).

*Maxim Svirin studied at the Department of Energy Engineering of Heat Technologie in the direction of "Thermal Power Engineering and Heat Engineering". He completed his undergraduate education program with honors in 2017. In 2019, he graduated with honors from the master's program. He entered and completed his postgraduate studies at the Department of High Energy Technology in the field of "Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting" (Scientific supervisor Artem Seminenko).*

**Artem Seminenko**, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, BSTU named after V.G. Shukhov, [seminenko.as@gmail.com](mailto:seminenko.as@gmail.com), ORCID [0000-0002-0581-4391](https://orcid.org/0000-0002-0581-4391).

