

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.148

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-4-153-164

А.Н. БЕЛОУС, М.В. ОВЕРЧЕНКО,

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ ОТ УЧАЩИХСЯ В ЗДАНИЯХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Аннотация. Создание и поддержание микроклимата помещений при минимальных финансовых затратах – одна из основных задач инженеров строительной отрасли. При этом необходимо учитывать не только теплотехнические характеристики современных строительных материалов и конструкций, но и показатели температурного комфорта, основываясь на тепловом балансе человека. Отдельное внимание необходимо уделить теплопоступлениям в зданиях образовательных организаций ввиду отсутствия в нормативной литературе однозначных данных по этому вопросу.

В статье рассмотрены различные методики по определению теплопоступлений от людей, выполнен сравнительный анализ методик, установлены факторы, влияющие на метаболизм и тепловое состояние человека в состоянии покоя и при выполнении работ различных категорий сложности, а также рассчитаны величины теплопоступлений от учащихся с учетом возрастных и физиологических характеристик, которые возможно использовать в дальнейшем при выполнении расчетов теплового баланса зданий образовательных организаций.

Выполнено сравнение рассмотренных методик определения бытовых теплопоступлений от учащихся в образовательных организациях с данными натурного исследования, которое показало высокую степень сходимости результатов исследования.

Ключевые слова: метаболизм, тепловой баланс человека, теплообмен, бытовые теплопоступления, здания образовательных организаций

Для цитирования: Белоус А.Н., Оверченко М.В. Сравнительный анализ методик определения теплопоступлений от учащихся в зданиях образовательных организаций // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 4. С. 153–164.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-4-153-164

A.N. BELOUS, M.V. OVERCHENKO,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

COMPARATIVE ANALYSIS OF IDENTIFICATION TECHNIQUES FOR HEAT GAIN FROM STUDENTS IN EDUCATION INSTITUTIONS

Abstract. Creation and maintenance of indoor climate at the lowest costs is one of the main tasks of engineers in the construction industry. It is necessary to take into account not only the thermal characteristics of modern building materials and structures, but also indicators of thermal comfort based on the heat balance of a person. It is necessary to pay attention to heat losses in the of education institution buildings in the absence of unambiguous required data on this matter in the normative documents. Various techniques of definition of heat gain from people are considered, the comparative analysis of techniques is conducted, factors influencing metabolism and heat balance of a person at rest and at work are identified, and the heat gain from students is calculated with respect to their age and physiological characteristics. These calculations can be used to detect the heat balance of education institution buildings. It is shown that theoretical calculations are in good agreement with the experimental data.

Keywords: metabolism, heat balance, heat exchange, domestic heat gains, education institution buildings

For citation: Belous A.N., Overchenko M.V. Sravnitel'nyi analiz metodik opredeleniya teplopostuplenii ot uchashchikhsya v zdaniyakh obrazovatel'nykh organizatsii [Comparative analysis of identification techniques for heat gain from students in education institutions]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 4. Pp. 153–164.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-4-153-164

Введение

Поддержание нормируемой температуры воздуха в помещении в отопительный период является одним из способов экономии энергетических ресурсов, на который оказывают влияние такие факторы, как теплотехнические свойства материалов и конструкций, режим эксплуатации здания, отопительная и вентиляционная системы, а также переменные во времени поступления тепла от оборудования и находящихся в здании людей.

Здания образовательных организаций характеризуются циклическим режимом работы с максимальной заполняемостью помещений в первой половине дня и практически нулевой в остальные часы. Это приводит к росту величины бытовых теплопоступлений от людей в часы максимальной заполняемости и к колебаниям температуры в помещении, что, в свою очередь, влияет на микроклимат помещений и влечет за собой необходимость корректировки работы системы отопления.

Методики определения величин бытовых теплопоступлений по ГОСТ Р 55656–2013 (ИСО 13790:2008) «Энергетические характеристики зданий. Расчет использования энергии для отопления помещений» и ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Энергетическая эффективность зданий. Метод расчета энергопотребления при отоплении, охлаждении, вентиляции, освещении и горячем водоснабжении» (EN ISO 13790) основаны на различных подходах

к определению исследуемой величины бытовых теплоступлений и не позволяют однозначно оценить влияние теплоступлений от людей в зданиях образовательных организаций.

Вопросам теплообмена человека с внешней средой посвящено большое количество публикаций и проведено много исследований в различных областях науки: врачами-гигиенистами, физиками, а также учеными в области строительной теплотехники начиная с первой половины XX в. [1–6]. Это обусловлено стремлением достичь таких оптимальных параметров внутренней среды, которые позволили бы обеспечить максимальный комфорт при минимальных затратах ресурсов на его поддержание, что особенно важно в условиях политики по снижению выбросов CO₂ в атмосферу и роста цен на энергоресурсы в последние десятилетия. При проектировании тепловой оболочки здания и климатических систем применяют усредненные данные по теплоступлениям в помещениях [7–11, 21–23]. Действующая нормативная документация регламентирует показатели для создания необходимого микроклимата в помещениях, ориентируясь на «условного» человека по ФАО ООН [12]: массой 70 кг и ростом 170 см. Однако для жилых и общественных зданий небольшого объема, к которым можно отнести здания школ, взаимосвязь системы обеспечения микроклимата и конструкций наружной оболочки здания должна быть рассчитана не на «условного», а на конкретного человека с его субъективными показателями [12, 18–20]. Существующие методы определения величин бытовых теплоступлений в зданиях школ [13] дают различные значения показателей бытовых теплоступлений, что не позволяет однозначно оценить их влияние на тепловой баланс зданий школьных учреждений. Дополнительная сложность заключается в определении количества тепла, выделяемого одним человеком, т. к. эти расчеты относят к задачам медицины.

Цель исследования состоит в определении величины бытовых теплоступлений от учащихся в зданиях образовательных организаций.

Методы исследования

Относительное постоянство температуры тела у человека обеспечивается механизмами терморегуляции, которые позволяют поддерживать температуру тела независимо от колебаний температуры окружающей среды. Это постоянство позволяет метаболическим процессам протекать с постоянной скоростью, дает возможность животным и человеку оставаться одинаково активными и в холодном, и в жарком климате. Диапазон температур, в которых человек может функционировать, достаточно узок, т. к. практически все погибают при температуре тела 40–45 °С. Поэтому определение теплового состояния в условиях теплового комфорта – такого нейтрального состояния, при котором механизмы терморегуляции не испытывают напряжения под влиянием факторов окружающей среды, является очень важным фактором, который необходимо учитывать при проектировании и в процессе эксплуатации зданий. Рассмотрим три методики определения теплоступлений от людей:

- 1) по средневзвешенной температуре кожи [6];
- 2) с учетом мощности метаболических процессов [6];
- 3) по методике Фангера [14].

Определение теплоступлений от людей по средневзвешенной температуре кожи человека

Тепло, которое вырабатывается в организме в условиях равновесия, отдается в окружающую среду поверхностью тела человека. Температура кожи человека в состоянии теплового комфорта на разных участках тела различна. Исходя из этого, экспериментально установлено, что максимально точно можно охарактеризовать тепловое состояние по средневзвешенной температуре кожи (СВТК), определяемой по формуле

$$\text{СВТК} = \frac{t_1 S_1 + t_2 S_2 + \dots + t_n S_n}{S}, \quad (1)$$

где n – число участков (точек) измерения температуры; t_n – температура n -участка тела; S_n – площадь n -участка поверхности тела с температурой, равной t_n .

Существуют различные варианты выбора точек для измерения температуры поверхности тела человека, и их не менее 15. Связь между тепловыми ощущениями и СВТК можно пронаблюдать по данным табл. 1, которые были получены в ходе многочисленных исследований посредством опроса испытуемых, измерения температуры кожи и температуры окружающей среды [15].

Таблица 1

Средневзвешенная температура кожи и влагопотери при относительном покое

Теплоощущения	СВТК, °С	Потери влаги, г/ч
Очень жарко	$\geq 36,0$	500–2000, значительная часть пота стекает
Жарко	$36,0 \pm 0,6$	250–500, значительная часть пота стекает
Тепло	$34,9 \pm 0,7$	60–250, пот не стекает
Комфорт	$33,2 \pm 1,0$	50 ± 10 , пот не выделяется
Прохладно	$31,1 \pm 1,0$	40, пот не выделяется
Холодно	$29,1 \pm 1,0$ ($27,9 \pm 1,5$)	Влагопотери как показатель теплоощущений нехарактерны
Очень холодно	Ниже 28,1 (26,4 и ниже)	

Зависимость температуры кожи от тепловых условий среды позволяет считать СВТК одним из показателей теплового комфорта. Таким образом, зная СВТК, можно определить количество тепла, выделяемого человеком, по формуле

$$Q = \alpha \cdot S(\text{СВТК} - t_b), \quad (2)$$

где S – площадь поверхности тела человека, м^2 ; α – коэффициент теплоотдачи конвекцией, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$; t_b – температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{С}$.

Определение теплоступлений от людей с учетом мощности метаболических процессов

Согласно второму закону термодинамики, все процессы превращения энергии протекают с рассеиванием энергии в виде тепла. Следовательно, теп-

лота поступает только из областей с более высокой температурой в область с более низкой. Таким образом, тепловая энергия от человека к окружающей среде передается при условии, что температура тела человека выше температуры среды.

В расчетах энергетических процессов теплообмена между человеком и окружающей средой важную роль играет метаболическое тепло.

Метаболическая тепловая энергия может быть определена по формуле

$$M = b \cdot k \frac{V_{O_2}}{S}, \quad (3)$$

где V_{O_2} – потребление кислорода, л/ч; k – коэффициент, меняющийся от 0,83 (для отдыха) до 1 (для тяжелого физического труда); $b = 5,8$ Вт·ч/л – энергетический эквивалент 1 л кислорода; S – площадь поверхности тела человека, м².

Обмен веществ в состоянии умственного или физического покоя, когда активно работают только внутренние органы человека, считается основным обменом веществ [6], средняя интенсивность которого у взрослого человека равна 1800 ккал/сут или $W_{00} = 88$ Вт. Но в зависимости от видов нагрузок на организм человека различают три основные категории видов деятельности. Согласно ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», классификация интенсивности трудовой деятельности представлена в табл. 2.

Таблица 2

Разграничение работ по тяжести на основе общих энергозатрат организма

Категория работ	Энергозатраты, Вт
Легкие физические работы (категория I)	
Ia – работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением	139
Iб – работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением	140–174
Средней тяжести физические работы (категория II)	
IIa – работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения	175–232
IIб – работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением	233–290
Тяжелые физические работы (категория III)	
III – работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий	Более 290

С учетом вышеизложенного наиболее точно взаимосвязь человека с окружающей средой можно представить в виде схемы [6] на рис. 1.



Рис. 1. Взаимосвязь человека с окружающей средой

Определение теплоступлений от людей по методике Фангера

Одна из наиболее точных методик оценивания показателей микроклимата была разработана П.О. Фангером [6, 9–11]. Эта методика впоследствии была положена в основу международного стандарта ISO 7730 и Standard ASHRAE 55. Согласно теории Фангера, температурный комфорт основывается на понятии «теплого баланса тела человека». При температуре тела 37 °С наступает баланс между выработанной энергией и энергетическими потерями организма [14]. Это описано уравнением

$$S - M \pm W \pm R \pm C \pm K - E - RES = 0, \quad (4)$$

где S – накопленное тепло; M – метаболизм; W – внешняя работа; R – теплообмен путем радиации; C – конвективный теплообмен; K – кондуктивный теплообмен; E – теплообмен за счет испарений; RES – теплообмен за счет дыхательной деятельности (респирации).

В модели Фангера отображена взаимосвязь между показателями микроклимата замкнутых помещений [14]:

PMV – усредненный предсказуемый показатель теплового комфорта;

PPD – предсказуемый процент неудовлетворенных температурой помещения лиц.

При этом взаимосвязь PMV и тепловой нагрузки на человека отражена в следующей формуле [14]:

$$PMV = 3,155(0,303e^{-0,114M} + 0,028)L, \quad (5)$$

где M – уровень метаболической генерации тепла в зависимости от двигательной активности, met (1 met = 58,1 Вт/м²); L – разница между производимым внутренним теплом человека и потерями в окружающую среду.

$$L = q_{met,heat} - f_{cl} \cdot h_c (T_{cl} - T_a) - f_{cl} \cdot h_F (T_{cl} - T_F) - 156(w_{sk} - w_a) - 0,142(q_{met,heat} - 18,43) - 0,00077M(93,2 - T_a) - 2,78M(0,0365 - w_a), \quad (6)$$

где T_{cl} – средняя температура поверхности тела человека в одежде, °F; f_{cl} – отношение площади закрытой части тела к площади поверхности тела; T_a – температура воздуха, °F; h_c – коэффициент конвективного теплопереноса, Btu/ft²·°F·h; h_F – коэффициент радиационного теплопереноса, Btu/ft²·°F·h;

w_a – отношение влажности воздуха; w_{sk} – отношение насыщенной влажности при заданной температуре кожи.

Результаты

Согласно методике определения теплоступлений СВТК, была определена площадь поверхности тела (ППТ или BSA – body surface area) ребенка возрастом от 11 до 15 лет со следующими параметрами: рост 150 см, вес 45 кг. Для получения достоверных результатов вычисления производились по формулам Мостеллера (7а) и Костеффа (7б), м²:

$$BSA = \sqrt{\frac{H \cdot P}{3600}} = 1,36 ; \quad (7a)$$

$$BSA = \frac{4 \cdot P + 7}{P + 90} = 1,38 , \quad (7b)$$

где H – рост, см; P – вес, кг.

Площадь отдельных участков тела человека соответствует их площади поверхности и определена по «правилу девяток» [16]:

- голова и шея – 18 %;
- верхние конечности – каждая по 9 %;
- нижние конечности и стопы – каждая по 14 %;
- передняя часть туловища (грудь и живот) – 18 %;
- задняя часть туловища (спина + поясница и ягодицы) – 18 %.

На основе полученных данных была определена СВТК для ребенка, которая составила 31,2 °С. Следовательно, теплоступления от ребенка возрастом 11–15 лет составят $Q = 108,2$ Вт.

Согласно методике определения теплоступлений от людей по мощности метаболических процессов, установлено, что интенсивность обмена веществ у детей от 11 до 15 лет составляют 32 ккал на 1 кг веса в сутки (Савченков Ю.И., Шилов С.Н., Солдатова О.Г. Возрастная физиология. Физиологические особенности детей и подростков. Москва: Владос, 2013. 143 с.). Таким образом, основной обмен веществ для этой возрастной категории составит 1536 ккал или $W_{00} = 75$ Вт. Тогда на основе нормативов ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» будут определены энергозатраты для категорий работ (табл. 3).

Таблица 3

Разграничение работ по тяжести на основе общих энергозатрат организма (для детей возрастом 11–15 лет)

Категория работ	Энергозатраты, Вт
Легкие физические работы (категория I)	
Ia – работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением	117
Iб – работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением	134

Окончание табл. 3

Категория работ	Энергозатраты, Вт
Средней тяжести физические работы (категория II)	
Па – работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения	174

Согласно методике Фангера, по уровню метаболической генерации тепла в зависимости от двигательной активности в состоянии абсолютного покоя величина метаболических тепловых потерь для ребенка возрастом 11–15 лет при установленной температуре $T_{cl} = 89,6$ °F, температуре воздуха $T_a = 68$ °F (что соответствует температуре 20 °C), установленной влажности воздуха в помещении 55 %, что соответствует нормативному показателю, составила 80,2 Вт. При умственной активности учащегося, которая характерна для проведения учебного процесса, при всех тех же исходных данных тепlopоступления от ребенка составят 125 Вт.

Заключение

Согласно представленным методикам по определению тепlopоступлений от человека, установлено, что нормируются величины тепlopоступлений от «условного» человека с параметрами $m = 70$ кг и $h = 170$ см [12], что не соответствует параметрам детей школьного возраста. В ходе работы были определены величины тепlopоступлений от детей школьного возраста от 11 до 15 лет.

На основе данных рассмотренных выше методик были получены величины тепlopоступлений от детей с параметрами, соответствующими возрасту от 11 до 15 лет:

1. Методика определения тепlopоступлений СВТК – 108,2 Вт.
2. Методика определения тепlopоступлений от людей с учетом мощности метаболических процессов – 117 Вт.
3. Методика Фангера – 125 Вт.

Разница между значениями бытовых тепlopоступлений от детей по рассмотренным методикам составляет от 8 до 15 %.

Для определения наиболее точного значения величины бытовых тепlopоступлений от детей в образовательных организациях сравним данные теоретических исследований с данными, полученными в ходе натурного исследования температурного режима помещений зданий образовательных организаций [13].

На основании натурного исследования температурного режима учебного помещения во время учебного процесса, проведенного в образовательном здании в зимний период года, был установлен прирост температуры, который составил 4 °C для класса площадью 48 м² и количеством присутствующих детей 20 чел. На основе данных натурного исследования были определены тепlopоступления от детей, находящихся в помещении в период рабочего дня [17]. Тепlopоступления от присутствующих учащихся в учебном помещении составили 2268,6 Вт, на од-

ного человека – 113,4 Вт. На рис. 2 приведена диаграмма сравнения величин теплопоступлений от учащихся в образовательных организациях по рассмотренным методикам расчета с данными натурного исследования.



Рис. 2. Диаграмма сравнения величин теплопоступлений от учащихся в учебном помещении

Анализируя данные, представленные на рис. 2, можно сделать следующие выводы:

1. Данные, полученные в ходе расчета по методике СВТК, отличаются от данных, полученных по натурным исследованиям, на 5 %.

2. Разница между данными, полученными по методике определения теплопоступлений от людей с учетом мощности метаболических процессов, и по натурным исследованиям составляет 3 %.

3. Данные по методике Фангера и по натурным исследованиям отличаются на 10 %.

Следовательно, можно сделать вывод, что наибольшую сходимость с данными натурных исследований показывают данные, рассчитанные по методике определения теплопоступлений от людей по мощности метаболических процессов с разницей 3 %, а величину теплопоступлений, равную 117 Вт, предлагается использовать в расчетах при аналитических исследованиях бытовых теплопоступлений от детей в зданиях образовательных организаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власов О.Е. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций. Москва ; Ленинград : Госстройиздат, 1933. 46 с.
2. Мачинский В.Д. Теплотехнические основы гражданского строительства. Москва : Госстройиздат, 1933. 312 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. 5-е изд., пересмотр. Москва : АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
4. Шкловер А.М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1961. 160 с.

5. Шкловер А.М., Васильев Б.Ф., Уиков Ф.В. Основы строительной теплотехники. Москва : Госстройиздат, 1956. 350 с.
6. Тимофеева Е.И., Федорович Г.В. Экологический мониторинг параметров микроклимата. Москва, 2005. 194 с.
7. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / пер. с венг. В.М. Беляева ; под ред. В.И. Прохорова, А.Л. Наумова. Москва : Стройиздат, 1981. 248 с.
8. Человек. Медико-биологические данные : доклад рабочей группы комитета II МКРЗ по условному человеку : пер. с англ. Москва : Медицина, 1977. 496 с.
9. Фангер П. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: в поисках совершенства // АВОК. 2000. № 2. С. 14–21.
10. Фангер П. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. 2003. № 4. С. 12–21.
11. Fanger P.O. Thermal Comfort. McGraw Hill, 1970.
12. Лобанов Д.В., Шичкин В.В. Учет комплекса параметров при оценке состояния микроклимата в помещении // Научный журнал ВГТУ. Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. № 4 (3). С. 70–75.
13. Белоус А.Н., Оверченко М.В. Исследование бытовых тепlopоступлений в образовательных учреждениях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 132–140. URL: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-6-132-140>
14. Гусейнова М.В. Исследование возможности групповой оценки теплового комфорта по теории Фангера применительно ко множеству лиц с разными трудовыми показателями // Экология человека. 2019. № 4. С. 60–64.
15. Кричагин В.И. Принципы объективной оценки теплового состояния организма // Авиационная и космическая медицина / под ред. В.В. Парина. Москва, 1963. С. 310–314.
16. Wallace A.B., McGill M.Sc., Edin M.B. The exposure treatment of burns // The Lancet. 1951. 3 March. V. 257. I. 6653. P. 501–504.
17. Белоус А.Н., Оверченко М.В., Белоус О.Е. Разработка теплотехнического измерительного комплекса // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 1. С. 140–151. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-1-140-151
18. Hong S., Mylona A., Davies H., Ruyssevelt P., Mumovic D. Assessing the Trends of Energy Use of Public Non-Domestic Buildings in England and Wales // Building Services Engineering Research and Technology. 2019. V. 40. I. 2. P. 176–197.
19. Promoting energy efficiency standards and technologies to enhance energy efficiency in buildings // ECE Energy Series № 60. Geneva : United Nations, 2020. 64 p.
20. Физиология человека / под ред. Г.И. Косицкого. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Медицина, 1985. 544 с.
21. Seyed Amin Tabatabaei, Wim van der Ham, Michel C.A. Klein, Jan Treur. A Data Analysis Technique to Estimate the Thermal Characteristics of a House // Energies. 2017. 10(9). 1358. URL: <https://doi.org/10.3390/en10091358>
22. Turgay Coşkun, Cihan Turhan, Zeynep Durmuş Arsan, Gülden Gökçen Akkurt. The importance of internal heat gains for building cooling design // Journal of Thermal Engineering. 2017. V. 3. № 1. P. 1060–1064.
23. Dariusz Suszanowicz. Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems // E3S Web of Conferences 19. 2017. 01024.

REFERENCES

1. Vlasov O.E. Teplotekhnicheskii raschet ograzhdayushchikh konstruktov [Thermal analysis of building envelopes]. Moscow; Leningrad: Gosstroizdat, 1933. 46 p. (rus)
2. Machinskii V.D. Teplotekhnicheskie osnovy grazhdanskogo stroitel'stva [Thermal fundamentals of civil engineering]. Moscow: Gosstroizdat, 1933. 312 p. (rus)
3. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastei zdaniy [Heat engineering of building envelopes], 5th ed., Yu.A. Tabunshchikov, V.G. Gagarin, Eds. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (rus)

4. Shklover A.M. Teploperedacha pri periodicheskikh teplovykh vozdeistviyakh [Heat transfer under periodic thermal impacts]. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat, 1961. 160 p. (rus)
5. Shklover A.M., Vasil'ev B.F., Ushkov F.V. Osnovy stroitel'noi teplotekhniki [Principles of building heat engineering]. Moscow: Gosstroizdat, 1956. 350 p. (rus)
6. Timofeeva E.I., Fedorovich G.V. Ekologicheskii monitoring parametrov mikroklimate [Ecological monitoring of microclimate parameters]. Moscow, 2005. 194 p. (rus)
7. Bankhidi L. Teplovoi mikroklimat pomeshchenii: raschet komfortnykh parametrov po teploshchushcheniyam cheloveka [Thermal microclimate of premises: Comfort parameter calculation according to human thermal sensations]. V.I. Prokhorov, A.L. Naumov, Eds, Moscow: Stroizdat, 1981. 248 p. (transl. from Hung.)
8. Chelovek. Mediko-biologicheskie dannye: doklad rabochei gruppy komiteta II MKRZ po uslovnomu cheloveku [Man. Medico-biological data: Report of the Working Group of Committee II of the ICRP on Conditional Man]. Moscow: Meditsina, 1977. 496 p. (transl. from Engl.)
9. Fanger P. Kachestvo vnutrennego vozdukha v XXI veke: v poiskakh sovershenstva [Indoor air quality in the 21st century: In search of perfection]. AVOK. 2000. No. 2. Pp. 14–21. (rus)
10. Fanger P. Kachestvo vnutrennego vozdukha v XXI veke: vliyanie na komfort, proizvoditel'nost' i zdorov'e lyudei [Indoor air quality in the 21st century: Effect on comfort, productivity, and health]. AVOK. 2003. No. 4. Pp. 12–21. (rus)
11. Fanger P.O. Thermal comfort. McGraw Hill, 1970.
12. Lobanov D.V., Shichkin V.V. Uchet kompleksa parametrov pri otsenke sostoyaniya mikroklimate v pomeshchenii [A set of parameters for assessing the room microclimate]. Zhilishchnoe khozyaistvo i kommunal'naya infrastruktura. 2017. No. 4 (3). Pp. 70–75. (rus)
13. Belous A.N., Overchenko M.V. Bytovye teplopostupleniya v obrazovatel'nykh uchrezhdeniyakh [Heat consumption in academic institutions]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 132–140. (rus)
14. Guseinova M.V. Issledovanie vozmozhnosti gruppovoi otsenki teplovogo komforta po teorii Fangera primenitel'no ko mnozhestvu lits s raznymi trudovymi pokazatelyami [Group evaluation of thermal comfort by Fanger's theory applied to individuals with different work performance]. Ekologiya cheloveka. 2019. No. 4. Pp. 60–64. (rus)
15. Krichagin V.I. Printsipy ob'ektivnoi otsenki teplovogo sostoyaniya organizma [Principles of objective assessment of the body's thermal state]. In: Aviatsionnaya i kosmicheskaya meditsina, V.V. Parin, Ed. Moscow, 1963. Pp. 310–314. (rus)
16. Wallace A.B., McGill M.Sc., Edin M.B. The exposure treatment of burns. The Lancet. 1951. 3 March. V. 257. No. 6653. Pp. 501–504.
17. Belous A.N., Overchenko M.V., Belous O.E. Perenosnoi teplotekhnicheskii izmeritel'nyi kompleks [Portable heat metering system design]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 1. Pp. 140–151. (rus)
18. Hong S., Mylona A., Davies H., Ruyssevelt P., Mumovic D. Assessing the trends of energy use of public non-domestic buildings in England and Wales. Building Services Engineering Research and Technology. 2019. V. 40. No. 2. Pp. 176–197.
19. Promoting energy efficiency standards and technologies to enhance energy efficiency in buildings. ECE Energy Series. 2020. No. 60. 64 p.
20. Kositskii G.I. (Ed.) Fiziologiya cheloveka [Human physiology], 3rd ed., Moscow: Meditsina, 1985. 544 p. (rus)
21. Seyed Amin Tabatabaei, Wim van der Ham, Michel C.A. Klein, Jan Treur. A data analysis technique to estimate the thermal characteristics of a house. Energies. 2017. 10 (9). 1358. DOI: 10.3390/en10091358
22. Turgay Coşkun, Cihan Turhan, Zeynep Durmuş Arsan, Gülden Gökçen Akkurt. The importance of internal heat gains for building cooling design. Journal of Thermal Engineering. 2017. V. 3. No. 1. Pp. 1060–1064.
23. Dariusz Suszanowicz. Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems. E3S Web of Conferences. 2017. V. 19. 01024.

Сведения об авторах

Белоус Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, us28@ya.ru

Оверченко Мира Викторовна, ассистент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, miro4ka8@mail.ru

Authors Details

Aleksei N. Belous, PhD, A/Professor, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, us28@ya.ru

Mira V. Overchenko, Assistant Lecturer, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, miro4ka8@mail.ru