

УДК 697.148

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-132-140

*А.Н. БЕЛОУС, М.В. ОВЕРЧЕНКО,  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БЫТОВЫХ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ**

Циклический режим работы образовательных учреждений в отопительный период является причиной нестационарности внутренних теплопоступлений. В статье выполнен сравнительный анализ методик расчета величин внутренних теплопоступлений. Определен прирост температуры по методике Шкловера с учетом прерывистой теплоподдачи. Проведены натурные исследования температурного режима учебной аудитории. На основании полученных данных установлен прирост температуры в течение рабочего дня, определена величина внутренних теплопоступлений. Полученные данные позволяют в дальнейшем корректировать работу систем отопления, влиять на выбор теплоизоляционных систем и снижать расходы на энергоресурсы.

**Ключевые слова:** бытовые теплопоступления; нестационарные теплопоступления; температурный перепад; температура внутреннего воздуха; микроклимат помещения.

**Для цитирования:** Белоус А.Н., Оверченко М.В. Исследование бытовых теплопоступлений в образовательных учреждениях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 132–140.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-132-140

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

## **HEAT CONSUMPTION IN ACADEMIC INSTITUTIONS**

The main purpose of the work is to estimate the influence of the intermittent heat supply from internal sources on inside air temperature in academic institutions. The functioning of academic institutions during the heating period is periodic. This is the reason for the unstable heat consumption. The periodic presence of people in classrooms leads to the intermittent heat supply. Heat consumption is averaged either over the area or the time. This makes it difficult to estimate the consumption on the thermal conditions in academic institutions. The paper gives a comparative analysis of calculating methods of the heat consumption. The temperature rise is determined theoretically allowing for the intermittent heat supply. Field studies are carried out of the temperature conditions in the classroom. The temperature increase and the heat consumption are determined herein.

**Keywords:** heat consumption; unstable heat consumption; temperature difference; inside air temperature; room climate.

**For citation:** Belous A.N., Overchenko M.V. Bytovye teplopоступleniya 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.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-132-140

## **Введение**

Строительная физика как наука начала развиваться еще в начале XX в. Основоположниками и авторами фундаментальных работ, труды которых лежат в основе строительной теплотехники, являются О.Е. Власов, В.Д. Мачинский, К.Ф. Фокин, А.М. Шкловер [1–5].

Современные ученые в странах СНГ и за рубежом активно занимаются поиском оптимальных конструктивных решений наружных ограждений и созданием комфортной среды во внутреннем пространстве здания. Большое внимание уделяется системам зданий, энергоэффективности, качеству воздуха в помещении, что регламентируется постоянно обновляющимися стандартами ISO, DIN, ASHRAE.

Одним из способов экономии тепловой энергии в отопительный период является контроль и поддержание нормируемой температуры внутреннего воздуха в помещении. Тепловой режим помещений образовательных учреждений в отопительный период зависит от ряда факторов: теплотехнических свойств ограждающих конструкций, системы отопления и вентиляции, режима работы здания, а также от переменных во времени внутренних поступлений тепла: от системы отопления и бытовых теплопоступлений. К бытовым теплопоступлениям относят метаболическую теплоту от людей, теплоту от осветительных приборов и от оборудования.

Режим работы образовательных учреждений в отопительный период носит циклический характер: максимальная заполняемость помещений людьми в утренние часы и практически нулевая во второй половине дня. Бытовые теплопоступления в данном случае характеризуются нестационарностью в течение суток, что оказывает влияние на тепловой баланс здания.

В образовательных учреждениях в зимний период года температура воздуха в помещениях была бы постоянной и поддерживалась на определенном уровне за счет работы системы отопления. Однако из-за пребывания людей в учебных аудиториях на протяжении рабочего дня возникает прерывистая теплоподача и происходит повышение внутренней температуры, обусловленное дополнительными выделениями тепла.

В работе [6] авторами исследован вопрос повышения энергоэкономической эффективности систем отопления и вентиляции с учетом полезного использования теплоты солнечной радиации и трансмиссионных теплопотерь здания. Подбору оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий при реконструкции образовательных учреждений посвящена работа [7], в которой рассмотрена энергетическая и экономическая целесообразность применения комплекса энергосберегающих мероприятий при реконструкции здания школы на основании требований СП 50.13330.2012 и общественного стандарта РНТО строителей РФ. Установлены критерии, входящие в систему параметров для оценки эффективности энергосберегающих мероприятий. Исследование теплового режима здания на примере корпусов Кузбасского ГТУ выполнено в работе [8]. В ходе работы выполнены замеры температуры внутреннего воздуха и температуры поверхностей наружных ограждений из кирпича. На основании выполненных измерений был рассчитан часовой рас-

ход тепла на  $1 \text{ м}^2$ , а также сделан вывод о необходимости регулирования системы отопления в осенне-весенний период. Установлено влияние бытовых теплопоступлений на температурный режим помещений, позволяющее экономить около 4 % от годового теплопотребления на отопление зданий.

Зарубежные ученые также занимаются исследованием внутренних теплопоступлений в общественных и жилых зданиях. В работе [9] рассмотрены внутренние теплопоступления и их важность при проектировании систем охлаждения и вентиляции в зданиях. В статье [10] исследовано влияние различных типов источников света в зданиях на величину внутренних теплопоступлений, в [11] проанализировано изменение величины внутренних теплопоступлений в нормативной литературе на протяжении 30 лет.

В работе [12] выполнен анализ факторов, влияющих на выбор системы утепления общеобразовательных учреждений, выявлены наиболее неблагоприятные конструктивные решения. Исследован тепловлажностный режим, и определена температура внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций при различных вариантах утепления.

Влияние внутренних теплопоступлений, в частности бытовых поступлений, учитывается при расчете теплового баланса здания, но при этом теплопоступления от людей принимаются как усредненные по площади или во времени выделения тепла и отличаются в различных методиках расчета, что затрудняет возможность оценки влияния внутренних теплопоступлений в образовательных учреждениях на тепловой режим помещений.

Цель работы – оценить влияние прерывистой теплоподачи от внутренних источников на температурный режим помещений образовательных учреждений.

Задачи исследования:

1. Выполнить расчеты величин бытовых теплопоступлений по методикам государственных стандартов России (ГОСТ Р) и государственных стандартов Украины (ДСТУ).
2. Установить величину температурных колебаний с учетом поглощения тепла воздухом и оборудованием теоретически.
3. Произвести сравнительный анализ полученных в ходе расчета данных по температурным колебаниям с данными натурных исследований.

### Материалы и методы

В качестве объекта исследования была выбрана общеобразовательная школа, расположенная в г. Донецке. Здание четырехэтажное, сложной формы в плане. Стены выполнены из силикатного кирпича, толщина наружных стен – 510 мм, внутренних – 380 мм. Перекрытия – из сборных железобетонных плит толщиной 220 мм. Высота этажа – 3 м. Общая площадь объекта исследования –  $3471,8 \text{ м}^2$ . Схема здания представлена на рис. 1. Климатические данные месторасположения объекта исследования приняты по ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Строительная климатология» для г. Донецка. Максимальное количество людей, пребывающих в здании: взрослые – 37 чел., дети – 350 чел.

В ходе исследования был выполнен расчет величины внутренних теплопоступлений по двум методикам:

1. ГОСТ Р 55656–2013 (ИСО 13790:2008) «Энергетические характеристики зданий. Расчет использования энергии для отопления помещений».

2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Энергетическая эффективность зданий. Метод расчета энергопотребления при отоплении, охлаждении, вентиляции, освещении и горячем водоснабжении» (EN ISO 13790).

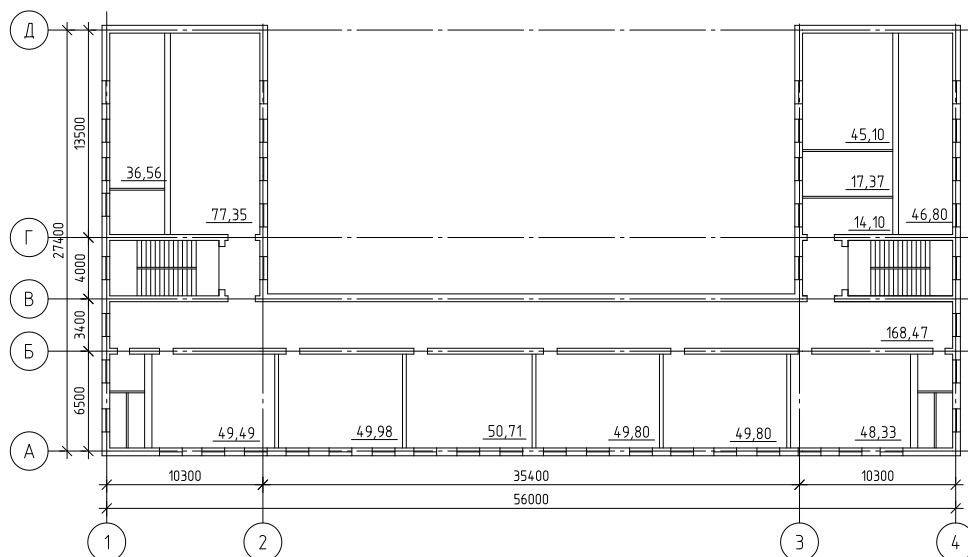


Рис. 1. План этажа исследуемого объекта

При расчете бытовых теплопоступлений в здание по ГОСТ Р 55656–2013 были учтены удельные бытовые тепловыделения от людей, освещения и техники, задействованной в функциональном процессе, происходящем в здании, время работы и заполняемость помещений.

Удельные бытовые тепловыделения в здании

$$q_v = \frac{(q_{\text{чел}} \cdot n_{\text{чел}} \cdot m_{\text{раб}} \cdot p_{\text{чел}} + Q_{\text{осв}} \cdot m_{\text{осв}} + q_{\text{орг}} \cdot A_p \cdot m_{\text{орг}} \cdot p_{\text{орг}})}{168 \cdot A_p} = 39,55 \text{ Вт/м}^2,$$

где  $A_p$  – расчетная площадь помещений,  $\text{м}^2$ ;  $q_{\text{чел}}$  – тепловыделения от одного человека, принимаемые 90 Вт/чел.;  $n_{\text{чел}}$  – расчетное число работающих, чел.;  $p_{\text{чел}}$  – заполняемость помещений людьми;  $Q_{\text{осв}}$  – проектная мощность освещения, Вт;  $m_{\text{осв}}$  – среднее за отопительный период число часов работы освещения в помещениях зоны, ч;  $q_{\text{орг}}$  – средняя по расчетной площади зоны удельная установленная мощность (тепловой поток), Вт/м, от оргтехники и других внутренних источников теплоты, принята 10 Вт/м<sup>2</sup>;  $m_{\text{орг}}$  – число часов работы оргтехники или других внутренних источников теплоты за неделю, ч;  $p_{\text{орг}}$  – доля одновременно работающих источников теплоты.

Величина бытовых теплопоступлений за отопительный период составила

$$Q_{\Sigma B, \text{от}} = 0,024 \cdot q_B \cdot z_{\text{от}} \cdot A_p = 372\,625,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где  $z_{\text{от}}$  – продолжительность отопительного периода в днях.

При расчете теплопоступлений от внутренних источников по ДСТУ учитывался усредненный по времени тепловой поток от каждого из внутренних источников энергии для зданий образовательных учреждений:

- внутренний тепловой поток от людей  $\Phi_{\text{int}, Oc} = 7 \text{ Вт/м}^2$ ;
- внутренний тепловой поток от освещения  $\Phi_{\text{int}, L} = 7 \text{ Вт/м}^2$ ;
- внутренний тепловой поток от оборудования  $\Phi_{\text{int}, A} = 6 \text{ Вт/м}^2$ .

Теплопоступления от внутренних тепловых источников в здании определяются по формуле

$$Q_{\text{int}} = \left( \sum_k \Phi_{\text{int}, mn, k} \cdot A_f \right) t = 199975,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где  $\Phi_{\text{int}, mn, k}$  – усредненный во времени тепловой поток от  $k$ -го внутреннего источника,  $\text{Вт/м}^2$ ;  $A_f$  – кондиционируемая площадь зоны здания,  $\text{м}^2$ ;  $t$  – продолжительность периода использования, выраженная в часах в месяц.

Значения величин внутренних теплопоступлений, рассчитанных по ГОСТ Р и ДСТУ, отличаются в 1,85 раза, что требует дальнейших исследований для определения наиболее точной методики расчета бытовых тепловыделений. Для этого было принято решение, основываясь на исходных данных объекта исследования, рассчитать теоретически прирост температуры в одной из учебных аудиторий образовательного учреждения и сравнить полученные данные с натурными измерениями температуры.

Повышение температуры [5] зависит от следующих характеристик помещения:

- 1) количества тепла, которое поступает в помещение при повышении температуры внутреннего воздуха на  $1^\circ\text{C}$ ;
- 2) усредненного коэффициента теплоусвоения всех поверхностей в помещении  $Y_0$ ;
- 3) общей площади всех поверхностей помещения  $F_0$ .

Увеличение температуры внутреннего воздуха в течение рабочего дня определим по формуле

$$\Delta t = \frac{W_m}{F_0} \left( \frac{\Omega'_{\text{max}} - \Omega'_{\text{min}}}{Y_0} + \frac{1}{\alpha_B} \right) = 2,4^\circ\text{C},$$

где  $W_m$  – метаболическое тепло от людей,  $\text{Вт}$ ;  $F_0$  – общая площадь всех поверхностей помещения,  $\text{м}^2$ ;  $\Omega'_{\text{max}}$ ,  $\Omega'_{\text{min}}$  – величины, зависящие от длительности теплоподдачи и времени, прошедшего от окончания теплоподдачи от рассматриваемого момента в долях периода, принимаются по [4];  $Y_0$  – усредненный коэффициент теплоусвоения поверхностей помещения,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\alpha_B$  – коэффициент теплоотдачи внутреннего воздуха,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Однако колебание температуры, полученное в ходе расчета, не учитывает теплопоглощение воздухом и оборудованием, находящимся в исследуемом помещении. Следовательно, необходимо определить поправочный коэффициент  $\xi$  [4]:

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{A}{F_0} \left( \frac{1}{Y_0} - \frac{1}{\alpha'_B} + \frac{1}{\alpha_k} \right)} = 0,756,$$

где  $A$  – сумма коэффициентов теплопоглощения воздухом и оборудованием ( $A_{\text{воз}} + A_{\text{обор}}$ );  $\alpha_k$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м·К);  $\alpha'_B$  – коэффициент теплоотдачи внутреннего воздуха с учетом усредненного по площади коэффициента теплоотдачи излучением  $\alpha'_L$  и коэффициента теплоотдачи конвекцией  $\alpha_k$ , Вт/(м·К).

На этом основании температурные колебания с учетом теплопоглощения воздухом и оборудованием составят

$$\Delta t'_{\text{воз}} = \Delta t \cdot \xi = 1,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для сравнения величины колебания температуры внутреннего воздуха в учебной аудитории образовательного учреждения были проведены измерения температуры и влажности внутреннего и наружного воздуха, а также температуры внутренней поверхности наружных ограждений с использованием измерительного комплекса, описанного в работе [13]. Измерения производились в течение рабочего дня. Размеры помещения, в котором проводилось исследование: 6,03×8,3 м. Среднее количество учащихся, присутствовавших к учебной аудитории на протяжении дня, – 20 чел. Схема расположения датчиков внутри и снаружи помещения, а также процесс измерения приведены на рис. 2–4.

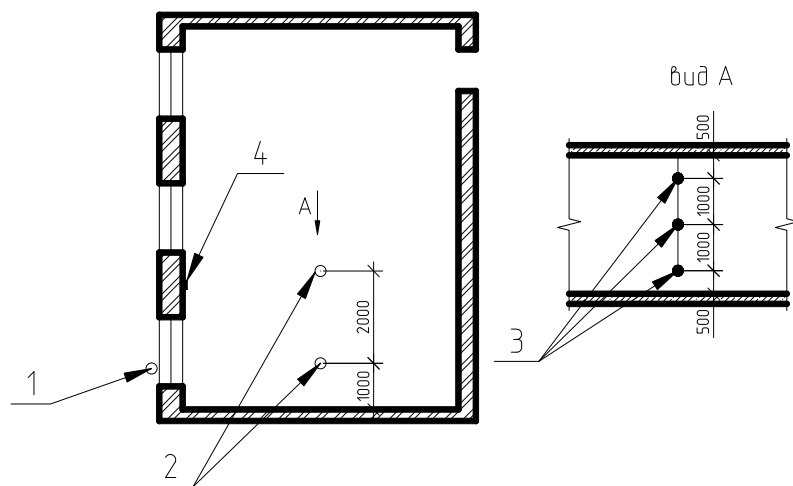


Рис. 2. Схема расположения датчиков:

1 – датчики, расположенные снаружи помещения; 2, 3 – датчики, расположенные по вертикали по центральной оси помещения; 4 – датчик теплового потока



Рис. 3. Датчики температуры и влажности, расположенные снаружи исследуемого помещения

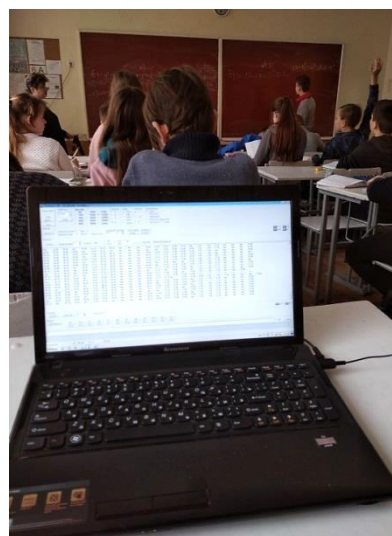


Рис. 4. Процесс записи данных с датчиков во время проведения натурного исследования

### Результаты

На основе данных о теоретическом приросте температуры и натурных исследованиях температурно-влажностного режима учебной аудитории был произведен сравнительный анализ изменения температуры внутреннего воздуха в помещении во время пребывания там людей и определен прирост температуры.

Усредненные данные температуры внутреннего воздуха в учебной аудитории представлены на рис. 5.

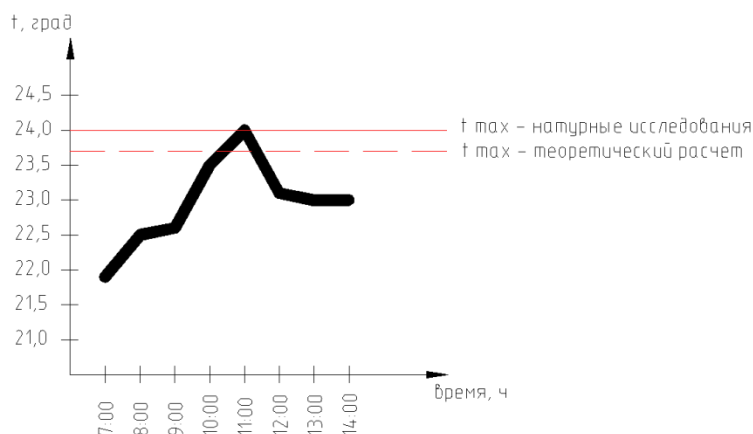


Рис. 5. График изменения температуры в учебной аудитории

Скачкообразное изменение температуры в интервале с 11:00 до 13:00 обусловлено проветриванием учебной аудитории во время перемен (длительностью 15–20 мин) по графику учебного процесса.

Максимальная температура, зафиксированная в ходе исследования, составила +24 °С. Температурный перепад  $\Delta t = 2,1$  °С.

Разница между температурными колебаниями по расчету  $\Delta t' = 1,8$  °С и натурными измерениями  $\Delta t = 2,1$  °С составляет 0,3 °С, что показывает высокую сходимость полученных результатов исследования.

### **Заключение**

Согласно приведенным методикам, выполнены расчеты величин бытовых теплопоступлений. Установлено, что данные, полученные в ходе расчета, отличаются в 1,85 раза, что требует дальнейших исследований для определения наиболее точной методики.

Величина температурных колебаний, рассчитанная теоретически по методике, предложенной А.М. Шкловером, составила 1,8 °С. В ходе натурных исследований установлена величина температурных колебаний, которая составила 2,1 °С. Данные, полученные в ходе теоретического исследования, отличаются от натурных на 14 %, что показывает достаточно высокую сходимость результатов исследования.

### **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., Уилов Ф.В.* Основы строительной теплотехники. Москва : Госстройиздат, 1956. 350 с.
6. *Липко В.И., Ланкович С.В.* Повышение энергоэкономической эффективности систем отопления и вентиляции зданий с технологическими чердаками // Актуальные проблемы архитектуры Белорусского Подвинья и сопредельных регионов : сб. науч. работ Междунар. науч.-практ. конф. к 50-летию Полоц. гос. ун-та, Новополоцк, 18–19 окт. 2018 г. Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2018. 292 с.
7. *Самарин О.Д.* Выбор оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий при реконструкции зданий образовательных учреждений // Жилищное строительство. 2015. № 2. С. 25–28.
8. *Королев А.Т.* Исследование теплового режима зданий // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. С. 120–121.
9. *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. VI. 3. № 1. P. 1060–1064.
10. *Dariusz Suszanowicz.* Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems // E3S Web of Conferences 19. 2017. 01024.
11. *Hyemi Kim, Kyung-soon Park, Hwan-yong Kim, Young-hak Song.* Study on Variation of Internal Heat Gain in Office Buildings by Chronology // Energies. 2018. 11 (4). 1013.
12. *Белоус А.Н., Оверченко М.В.* Анализ факторов, влияющих на выбор систем утепления образовательных учреждений // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 2. № 4. С. 17–23.
13. *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.



## REFERENCES

1. Vlasov O.E. Teplotekhnicheskii raschet ograzhdayushchikh konstruktov [Thermal analysis of building walling systems]. Moscow, Leningrad: Gosstroizdat, 1933. 46 p. (rus)
2. Machinskii V.D. Teplotekhnicheskie osnovy grazhdanskogo stroitel'stva [Thermal engineering in civil engineering]. Moscow: Gosstroizdat, 1933. 312 p. (rus)
3. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastei zdaniy [Thermal engineering of building walling systems], 5th ed., Yu.A. Tabunshchikov, V.G. Gagarin, Eds. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (rus)
4. Shklover A.M. Teploperedacha pri periodicheskikh teplovykh vozdeystviyakh [Heat transfer under periodic thermal influence]. Moscow, Leningrad: Gosenergoizdat, 1961. 160 p. (rus)
5. Shklover A.M., Vasil'ev B.F., Ushkov F.V. Osnovy stroitel'noi teplotekhniki [Fundamentals of building heat engineering]. Moscow: Gosstroizdat, 1956. 350 p. (rus)
6. Lipko V.I., Lankovich S.V. Povyshenie energoekonomicheskoi effektivnosti sistem otopeniya i ventilyatsii zdaniy s tekhnologicheskimi cherdakami [Energy and economic efficiency improvement of heating and ventilation systems in buildings with engineering attics]. In: Aktual'nye problemy arkhitektury Belorusskogo Podvin'ya i sopredel'nykh regionov: sb. nauch. rabot Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. k 50-letiyu Polots. gos. un-ta, Novopolotsk, 18–19 okt. 2018 g. (Proc. Int. Sci. Conf. 'Relevant Problems of Architecture of Belorusskoe Podvin'e and Related Regions'). Novopolotsk, 2018. 292 p. (rus)
7. Samarin O.D. Vybór optimal'nogo sochetaniya energosberegayushchikh meropriyatiy pri rekonstruktsii zdaniy obrazovatel'nykh uchrezhdenii [Optimal combination of energy-saving measures in reconstruction of academic institutions]. *Zhishchnoye stroitel'stvo*. 2015. No. 2. Pp. 25–28. (rus)
8. Korolev A.T. Issledovanie teplovogo rezhima zdaniy [Thermal conditions of buildings]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. Pp. 120–121. (rus)
9. 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.
10. Dariusz Suszanowicz. Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems. *E3S Web of Conferences*. 2017. V. 19. P. 01024.
11. Hyemi Kim, Kyung-soon Park, Hwan-yong Kim, Young-hak Song. Study on variation of internal heat gain in office buildings by chronology. *Energies*. 2018. V. 11. No. 4. P. 1013.
12. Belous A.N., Overchenko M.V. Analiz faktorov, vliyayushchikh na vybor sistem utepleniya obrazovatel'nykh uchrezhdenii [Selection of insulation systems in educational institutions]. *Stroitel'nye materialy i izdeliya*. 2018. V. 2. No. 4. Pp. 17–23. (rus)
13. 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)

## Сведения об авторах

Белоус Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 86123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, us28@ya.ru

Оверченко Мира Викторовна, ассистент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 86123, 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, Makiivka, Donetsk People's Republic, us28@ya.ru

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