



Методика тепло-технического расчёта наружных ограждающих конструкций зданий, отапливаемых ИК-излучателями

Воздействие инфракрасного лучистого отопления благоприятно сказывается на самочувствии людей, теплокровных животных и птиц. Тепловое излучение проникает через поверхность кожи, частично нагревает её, достигает кровеносных сосудов и непосредственно повышает температуру крови, вызывая приятные тепловые ощущения.

В системах отопления на базе газовых инфракрасных излучателей (далее ГИИ) подача теплоты в рабочую зону осуществляется направленным тепловым излучением, причём энергия аккумулируется в приповерхностных слоях ограждающих конструкций и затем используется для формирования конвективных потоков, обеспечивающих нагрев воздуха рабочей зоны.

При лучистом отоплении создаётся температурный режим (рис. 1), при котором средняя температура поверхностей стен $t_{ст.н}$ и пола $t_{пл}$ в рабочей (облучаемой зоне) выше температуры воздуха $t_{в,р}$, которая одновременно выше температуры воздуха в необлучаемом объёме помещения $t_{в,в}$, $t_{ст.н} > t_{в,р} > t_{в,в}$.

В рабочей зоне производственных помещений допускается снижение величины $t_{в,р}$ до 4°C по сравнению со значениями, предусмотренными СанПиН 2.2.4.58–96.

Одной из основных причин ограниченного применения отопления на базе ГИИ является отсутствие научно обоснованной теории передачи и трансформа-

ции тепловой энергии от радиационного источника. Действующие нормативные документы, определяющие параметры микроклимата помещений, не учитывают специфику работы систем теплового излучения. Мощность систем отопления принимается равной расчётным потерям теплоты здания (СНиП 41-01–2003), то есть изначально перечёркиваются преимущества радиационного отопления по сравнению с конвективным и воздушным, заключающиеся в снижении тепловой мощности (не менее 40%) [1, 2].

Используемые подходы по анализу температурных режимов объектов с лучистым теплообеспечением [3] не учитывают конвективную составляющую теплообмена на внутренних поверхностях и теплоотвод через наружные ограждающие конструкции в атмосферу. В то же время эти факторы в реальных вариантах систем лучистого отопления могут играть определяющую роль.

Одной из основных причин ограниченного применения отопления на базе ГИИ является отсутствие научно обоснованной теории передачи и трансформации тепловой энергии от радиационного источника. Действующие нормативные документы не учитывают специфику работы систем теплового излучения

УДК 697.7

Методика теплотехнического расчёта наружных ограждающих конструкций зданий, отапливаемых инфракрасными излучателями

В. И. Бодров, д.т.н., профессор; А. А. Смыков, бакалавр, ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)

Помещения с системами отопления на базе инфракрасных излучателей относятся к особому классу по нормированию величины сопротивления теплопередаче наружных ограждений и расчёту теплового режима.

Ключевые слова: лучистое отопление, ограждающие конструкции, сопротивление теплопередаче, температурный режим, теплообмен, теплотехнический расчёт.

UDC 697.7

Method of thermal calculation external walling in a building with heating system based infrared emitters

V. I. Bodrov, Doctor of Engineering Sciences, Professor; A. A. Smykov, bachelor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNSUACE)

Rooms with heating systems based on infrared heaters are a special class on the valuation value of thermal resistance of external fences and calculating the thermal regime.

Keywords: radiant heating system, building envelope, thermal resistance, temperature, heat transfer, thermal calculation.

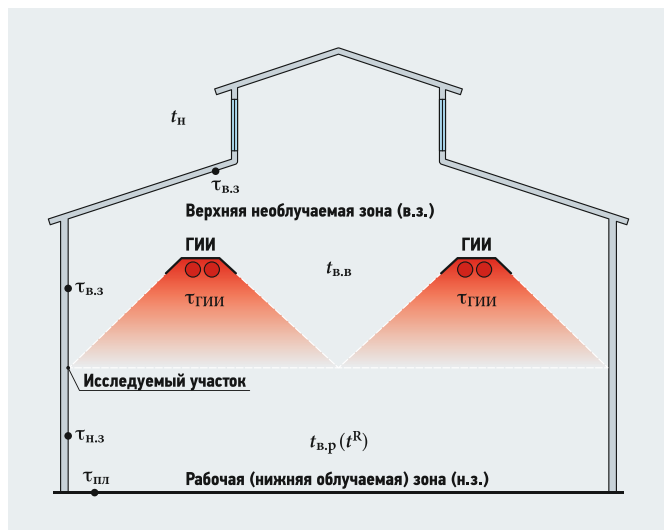


Рис. 1. Температурный режим в помещении при лучистом отоплении с «тёмными» ГИИ

Исследование тепловых режимов конкретных помещений (рис. 1), отапливаемых на базе ГИИ, показали, что динамику температурного режима наружных ограждений и помещений в целом можно представить только на основе решения системы уравнений движения тепловых потоков в облучённой и необлучённой зонах [1, 3, 4, 6, 7]. Тепловой расчёт и конструирование лучистой системы отопления сводится к определению необходимой тепловой мощности системы, количеству ГИИ и месту их размещения, при заданном сочетании в рабочей зоне радиационной температуры t^R в зависимости от тяжести работы и характера одежды людей, физиологического состояния и характера волосяного покрова животных (в том числе птиц).

Расчётная тепловая мощность системы отопления с ГИИ Q_0 и температурный режим наружных ограждений определяются из системы уравнений теплового баланса поверхностей ограждающих конструкций, излучающих поверхностей и объёмов воздуха в облучённых и необлучённых зонах. С учётом исследований в зонах [7] система уравнений имеет вид:

$$Q_{\text{ГИИ-пт}}^{\text{л}} + Q_{\text{пт-пл}}^{\text{л}} + Q_{\text{пт-ст.н}}^{\text{л}} + Q_{\text{пт-ГИИ}}^{\text{л}} + Q_{\text{п-в.вз}}^{\text{к}} + Q_{\text{пт-н}}^{\text{тп}} = 0; \quad (1)$$

$$Q_{\text{ГИИ-ст.в}}^{\text{л}} + Q_{\text{ст.в-пл}}^{\text{л}} + Q_{\text{ст.в-пт}}^{\text{л}} + Q_{\text{ст.в-ГИИ}}^{\text{л}} + Q_{\text{ст.в-в.вз}}^{\text{к}} + Q_{\text{ст.в-н}}^{\text{тп}} = 0; \quad (2)$$

$$Q_{\text{в.вз-в.нз}}^{\text{и}} + Q_{\text{в.вз-пт}}^{\text{к}} + Q_{\text{ГИИ-в.вз}}^{\text{к}} + Q_{\text{в.вз-ст.в}}^{\text{к}} + Q_{\text{в.вз-в.нз}}^{\text{м}} = 0; \quad (3)$$

$$Q_{\text{пл-пл}}^{\text{л}} + Q_{\text{пл-пт}}^{\text{л}} + Q_{\text{пл-ст.н}}^{\text{л}} + Q_{\text{пл-ст.в}}^{\text{л}} + Q_{\text{в.вз-в.нз}}^{\text{м}} + Q_{\text{пл-ГИИ}}^{\text{к}} + Q_{\text{пл-в.нз}}^{\text{к}} = 0; \quad (4)$$

$$Q_{\text{ГИИ-ст.н}}^{\text{л}} + Q_{\text{ст.н-пл}}^{\text{л}} + Q_{\text{ст.н-пт}}^{\text{л}} + Q_{\text{ст.н-ГИИ}}^{\text{л}} + Q_{\text{ст.в-в.нз}}^{\text{к}} + Q_{\text{ст.н-н}}^{\text{тп}} = 0; \quad (5)$$

$$Q_{\text{в.нз-н}}^{\text{и}} + Q_{\text{пл-в.нз}}^{\text{к}} + Q_{\text{ст.н-в.нз}}^{\text{к}} + Q_{\text{об-в.нз}}^{\text{к}} + Q_{\text{в.нз-ГИИ}}^{\text{л}} = 0; \quad (6)$$

$$Q_{\text{ГИИ-пл}}^{\text{л}} + Q_{\text{ГИИ-пт}}^{\text{л}} + Q_{\text{ГИИ-ст.в}}^{\text{л}} + Q_{\text{ГИИ-ст.н}}^{\text{л}} + Q_{\text{ГИИ-в.нз}}^{\text{л}} + Q_{\text{ГИИ-в.вз}}^{\text{л}} = 0; \quad (7)$$

$$\Delta p_{\text{вз-нз}} = s G_{\text{вз-нз}}^2; \quad (8)$$

$$t^R + A + t_{\text{в.р}} = B. \quad (9)$$

Индексы в формулах (1)–(9), кроме указанных в тексте и на рис. 1: теплообменивающиеся поверхности (пл — пол; пт — потолок; ст.н — облучаемые наружные ограждения; ст.в — необлучаемые наружные ограждения); объёмы (в.вз — объём воздуха необлучаемой верхней зоны; в.нз — объём воздуха облучаемой нижней зоны; н — наружный воздух; об — оборудование); способы теплообмена (л — лучистый; к — конвективный; тп —

теплопередача; и — инфильтрация; м — массообмен между зонами); $\Delta p_{\text{вз-нз}}$ — перепад давления, определяющий воздухообмен между зонами; S — характеристика сопротивления; $G_{\text{вз-нз}}$ — воздухообмен между зонами; A и B — постоянные.

Теплообмен на поверхностях пола, потолка, стен обеих зон описывается уравнениями (1), (2), (4) и (5), которые учитывают взаимное облучение каждой отдельной поверхности помещения остальными, включая ГИИ. Тепловой баланс воздуха верхней и рабочей зон рассмотрим в (3) и (6). Тепловой поток от ГИИ в помещение определяется по (7). Уравнение (8) даёт величину воздухообмена между верхней и рабочей зонами. В качестве граничных условий при решении системы принято первое условие комфортности (9).

Расчётная тепловая мощность системы отопления с ГИИ и температурный режим наружных ограждений определяются из системы уравнений теплового баланса поверхностей ограждающих конструкций, излучающих поверхностей и объёмов воздуха в облучённых и необлучённых зонах

Для упрощения и получения однозначного решения системы уравнений (1)–(9) введён ряд допущений и приближений, не меняющих физической сущности и количественных показателей процессов переноса теплоты: процессы стационарные; средняя интегральная степень черноты поверхностей $\epsilon = 0,85$; доля лучистой составляющей определяется КПД излучателя ψ ; тепловое излучение с верхней поверхности ГИИ в верхнюю зону помещения не учитывается ($Q_{\text{ГИИ-ст.в}}^{\text{л}} = 0$, $Q_{\text{ГИИ-пт}}^{\text{л}} = 0$); лучистый теплообмен между наружными стенами нижней зоны и покрытием отсутствует ($Q_{\text{ст.н-пт}}^{\text{л}} = 0$).

Для получения расчётных параметров микроклимата при лучистом отоплении крупногабаритных помещений с большим объёмом было принято: термическое сопротивление одежды $R_t = 0,155 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$; тяжесть выполняемых работ — средняя; для промышленных помещений максимально допустимая плотность потока теплового излучения на уровне головы $q_l = 80 \text{ Вт}/\text{м}^2$, при этом максимальная плотность потока на поверхности туловища, рук и ног $q_l = 150 \text{ Вт}/\text{м}^2$, для сельскохозяйственных помещений среднее значение потока $q_l = 80 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при максимально допустимых $q_l = 160 \text{ Вт}/\text{м}^2$ (телята) и $q_l = 210 \text{ Вт}/\text{м}^2$ (поросята в возрасте до 30 суток).





С учётом принятых допущений система уравнений (1)–(9) запишется в развёрнутом виде:

$$c_{вз-пл} \varphi_{пл-пт} (F_{пт} - \sum F_{ГИИ}) (\tau_{пл} - \tau_{вз}) + (\alpha_{пт} F_{пт} + \alpha_{ст.вз} F_{ст.в}) \times \\ \times (t_{в.в} - \tau_{вз}) - \left(\frac{F_{пт}}{\delta_{пт} + \frac{1}{\lambda_{пт}}} + \frac{F_{ст.в}}{\delta_{ст} + \frac{1}{\lambda_{ст}}} \right) (t_{в.в} - t_{н}) = 0; \quad (10)$$

$$(1 - \psi) \mu Q_0 - (\alpha_{к.ст} F_{ст.н} + \alpha_{к.пт} F_{пт}) \times \\ \times (t_{в.в} - \tau_{ст.н}) - c_p G_{н} (t_{в.в} - t_{в.р}) = 0; \quad (11)$$

$$\psi Q_0 - \alpha_{к.пл} F_{пл} (\tau_{пл} - t_{в.р}) - C_{вз-пл} \varphi_{пл-пт} (F_{пл} - \sum F_{ГИИ}) (\tau_{пл} - \tau_{вз}) - \\ - C_{пл-ст} \varphi_{пл-ст.н} F_{пл} (\tau_{пл} - \tau_{ст.н}) - F_{пл} \frac{\tau_{пл} - t_{н}}{\delta_{пл} + \frac{1}{\lambda_{пл}}} = 0; \quad (12)$$

$$(1 - \mu) \psi Q_0 + C_{пл-ст} \varphi_{пл-ст.н} F_{пл} (\tau_{пл} - \tau_{ст.н}) - \\ - \alpha_{к.ст} F_{ст.н} (\tau_{ст.н} - t_{в.р}) - F_{ст.н} \frac{\tau_{ст.н} - t_{н}}{\delta_{ст} + \frac{1}{\lambda_{ст}}} = 0; \quad (13)$$

$$Q_{об} + \alpha_{ст} F_{ст.н} (\tau_{ст.н} - t_{в.р}) + \alpha_{пл} F_{пл} (\tau_{пл} - t_{в.р}) - \\ - G_{вз-нз} c_p (t_{в.в} - t_{в.р}) - G_{н} c_p (t_{в.р} - t_{н}) + \psi Q_0 = 0; \quad (14)$$

$$\psi Q_0 = C_{ГИИ-пл} \mu \sum F_{ГИИ} (\tau_{ГИИ} - \tau_{пл}) + \\ + C_{ГИИ-ст.н} (1 - \mu) \sum F_{ГИИ} (\tau_{ГИИ} - \tau_{ст.н}); \quad (15)$$

$$Q_0 = 0,125 \frac{\sum F_{ГИИ} Q_{н}^c \psi}{f_{пл} 3600}; \quad (16)$$

$$\varphi_{ч-пт} \frac{\tau_{ГИИ} \sum F_{ГИИ} + \tau_{вз} (F_{пт} - \sum F_{ГИИ})}{F_{пт}} + \varphi_{ч-ст.н} \tau_{ст.н} + \\ + \varphi_{ч-пл} \tau_{пл} - \tau_{ч} + A t_{в.р} = B. \quad (17)$$

В системе (10)–(17) дополнительно: α_k — коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м²·°C); α_v и α_n — коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностями ограждения, Вт/(м²·°C); φ — коэффициент облучённости соответствующих ограждений; $\varphi_{ч-ст.н}$, $\varphi_{ч-пл}$ и $\varphi_{ч-пт}$ — коэффициенты облучённости с поверхности тела человека (животного) на соответствующее ограждение; $C_{пл-ст}$ и $C_{вз-пл}$ — коэффициенты, равные $C_0 \varepsilon b$, Вт/(м²·°C); b — температурный коэффициент, К³; δ и λ — условные толщина [м] и коэффициент теплопроводности [Вт/(м·°C)] наружного ограждения; $Q_{об}$ — тепловыделения от оборудования, Вт; ψ — лучистый коэффициент полезного действия излучателя; $F_{ст.н}$, $F_{ст.в}$, $F_{пл}$ и $F_{пт}$ — площади стен верхней и нижней зон, пола и потолка (покрытия); $\sum F_{ГИИ}$ — суммарная площадь излучающих поверхностей площадью $f_{пл}$, м²; $\tau_{ч}$ — температура тела человека или животного, °C; c_p — теплоёмкость воздуха, Дж/(кг·°C); $Q_{н}^c$ — низшая теплота сжигания газа, Дж/м³.

Решение системы уравнений (10)–(17), представляющей физико-математическую модель лучистого отопления, позволяет с достаточной для инженерных расчётов точностью определять температурные характеристики конкретной наружной ограждающей конструкции и воздуха в помещении в холодный период года. Результаты исследований по температурному режиму помещений, обогреваемых лучистой энергией [1], не даёт однозначного ответа на вопрос о требуемых теплофизических характеристиках наружных ограждающих конструкций. Уменьшение подачи теплоты в помещение при использовании ГИИ, достаточной для поддержания допустимой температуры воздуха в рабочей зоне $t_{в.р}$, по сравнению с конвективным или воздушным отоплением влечёт за собой снижение температуры воздуха в верхней (необлучаемой) зоне $t_{в.в}$. В результате чего температура может понизиться до температуры внутренней поверхности ограждений верхней зоны $\tau_{в.з}$, что влечёт конденсацию водяных паров на ограждении [4].

Для предотвращения увлажнения наружных ограждений нормирование их теплозащитных показателей при лучистом отоплении необходимо проводить отдельно для облучаемых (в рабочей зоне) и необлучаемых поверхностей. Однако практическое определение требуемого сопротивления теплопередаче R_o^{TP} по общепринятой методике затруднено из-за нестационарности процессов теплопередачи [1].

Переменными являются значения нормированного потока теплоты $q^H = \alpha_v \Delta t^H$ на гряды различных зон ограждений из-за изменения коэффициентов теплоотдачи α_v и нормируемых перепадов температуры $\Delta t^H = t_v - \tau_v$.

Имеются рекомендации для помещений с лучистым отоплением при расчёте величины R_o^{TP} исключить теплообмен на внутренних поверхностях [5] и находить значение $R_o^{TP} = R_o^{TP} - 1/\alpha_v$. Значение R_o^{TP} — требуемое сопротивление теплопередаче от внутренней поверхности ограждения с температурой $\tau_{в.доп}$ к наружному воздуху. Формула для определения R_o^{TP} [м²·°C/Вт] в этих условиях с учётом поправочного коэффициента n имеет вид:

$$R_o^{TP} = \frac{(\tau_{в.доп} - t_n) n}{q^H}. \quad (18)$$

Справедливым является определение величины R_o^{TP} отдельно для каждого участка наружных ограждающих конструкций, находящихся в облучаемой зоне, но, так как в нашем случае лучистый теплообмен исключён, то температура $\tau_{в.доп}$ будет иметь одинаковые значения на различных участках и, как следствие, не будет зависеть от радиального расстояния r от излучателя до поверхности-поглотителя [8], следовательно, и значение R_o^{TP} будет одинаково для всех участков облучаемых наружных ограждений. Измерение температуры $\tau_{в.доп}$ возможно провести

Решение системы уравнений (10)–(17), представляющей физико-математическую модель лучистого отопления, позволяет с достаточной для инженерных расчётов точностью определять температурные характеристики конкретной наружной ограждающей конструкции и воздуха в помещении в холодный период года

путём замера температуры поверхности, имеющей коэффициенты излучения ϵ и пропускания τ , равные нулю (инфракрасный отражатель).

Инфракрасное излучение подчиняется, для исследуемого участка, закону излучения Кирхгофа [8]:

$$\epsilon + \rho + \tau = 1, \quad (19)$$

где ϵ — коэффициент излучения; ρ — коэффициент отражения; τ — коэффициент пропускания.

Коэффициент излучения ϵ — это отношение излучения поверхности объекта к излучению абсолютно чёрного тела при той же температуре и в том же интервале длин волн. Коэффициент отражения ρ — отношение общей энергии излучения, отражённой поверхностью, к общей энергии излучения, падающего на эту поверхность. Коэффициент пропускания τ — это коэффициент, характеризующий способность материала пропускать через себя инфракрасное излучение и зависящий от типа и толщины материала.

В качестве инфракрасного отражателя может применяться смятый, а затем разглаженный лист алюминиевой фольги [9]. Измерение проводится в следующей последовательности: инфракрасный отражатель устанавливается таким образом, чтобы его плоскость отражения была параллельна поверхности исследуемого объекта. По прошествии некоторого времени контактным термометром проводится измерение температуры инфракрасного отражателя $\tau^{\text{HO}} = \tau_{\text{в}}^{\text{доп}}$.

После выполнения вышеописанных операций необходимо подставить полученную температуру $\tau^{\text{HO}} = \tau_{\text{в}}^{\text{доп}}$ в формулу (1) и провести расчёт $R_{\text{от}}^{\text{л}}$ для данной зоны поверхности ограждающей конструкции.

Системы газового лучистого отопления потребляют меньшее количество теплоты для поддержания допустимых температурных параметров в рабочей зоне. Для конкретизации зададимся общепринятой в технической литературе величиной снижения расхода теплоты 40 % [1]. Тогда мощность систем лучистого отопления составит $Q_{\text{от}}^{\text{л}} = 0,6 Q_{\text{от}}^{\text{к}}$. Поддержание средневзвешенной температуры в помещении $t_{\text{в.в.}}$, гарантирующей



отсутствия конденсации водяных паров на необлучённых поверхностях наружных ограждений, возможно только при увеличении сопротивления теплопередаче теплового контура при лучистом отоплении $R_{\text{от}}^{\text{л}}$ по сравнению с конвективным $R_{\text{от}}^{\text{к}}$ на величину $0,6/R_{\text{от}}^{\text{к}} = 1/R_{\text{от}}^{\text{л}}$, то есть $R_{\text{от}}^{\text{л}} = 1,67 R_{\text{от}}^{\text{к}}$.

Заключение

1. Полученная методика определения $\tau_{\text{в}}^{\text{доп}}$ позволяет рассчитывать требуемые теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций в облучаемой зоне зданий с лучистыми системами отопления по методике [5]. В свою очередь, требуемые теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций в необлучаемой зоне определяются по общепринятой методике, при этом $R_{\text{от}}^{\text{л}} < R_{\text{от}}^{\text{к}}$.
2. Значение требуемого сопротивления теплопередаче в зданиях с системами лучистого отопления постоянно для всей облучаемой зоны ($R_{\text{от}}^{\text{л}} = \text{const}$).
3. Здания с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей относятся к особому классу по нормированию и расчёту величины сопротивления теплопередаче наружных ограждений.

Получение экономического преимущества в процессе эксплуатации систем лучистого газового отопления от снижения потребления тепловой энергии возможно только при повышении сопротивления теплопередаче теплового контура зданий, что сопровождается увеличением капитальных затрат в процессе строительства или реконструкции. ●



1. Куриленко Н.И., Максимов В.И., Мамонтов Г.Я., Нагорнова Т.А. Тепловой режим производственных помещений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей. — Томск: ТПУ, 2013. 101 с.
2. Бодров В.И., Махов Л.М., Троицкая Е.В. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных зданий сельскохозяйственного назначения. — М.: Изд-во «АСВ», 2014. 240 с.
3. Бухмистров В.В., Крупеников С.А., Солнышкова Ю.С. Алгоритм расчёта систем лучистого отопления помещений // Вестник ИГЭУ, 2010. №4. С. 23–25.
4. Бодров В.И., Смыков А.А. Теплофизические характеристики теплового контура зданий с газовыми инфракрасными излучателями // Журнал С.О.К., 2014. №7. С. 52–54.
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учеб. для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
6. Давлятчин Р.Р., Куриленко Н.И. Лучисто-конвективный теплообмен газовых инфракрасных излучателей с многослойной конструкцией кровли // Приволжский научный журнал, 2009. №2. С. 74–78.
7. Михайлова Л.Ю. Разработка методики расчёта радиационного отопления зданий производственного назначения / Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. — Тюмень, 2006. 16 с.
8. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. — М.: Машиностроение, 1980. 320 с.
9. ГОСТ Р ИСО 18434-1–2013. Контроль состояния и диагностика машин: Термография. Ч. 1. Общие методы.

Method of thermal calculation external walling in a building with heating system based infrared emitters. Pages 92–95.

V. I. Bodrov, Doctor of Engineering Sciences, Professor; **A. A. Smykov**, bachelor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNSUACE)

1. Kurilenko N.I., Maksimov V.I., Mamontov G.Ja., Nagornova T.A. Teplovoj rezhim proizvodstvennyh pomeshhenij s sistemami otopenija na baze gazovyh infrakrasnyh izluchatelej [Heat treatment of production departments with heating systems based on gas infrared heaters]. Tomsk. TPU. 2013. 101 p.
2. Bodrov V.I., Mahov L.M., Troickaja E.V. Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie vozduha proizvodstvennyh zdaniij sel'hoznaznachenija [Heating, ventilation and air conditioning of agricultural production departments]. Moscow. Izdatel'stvo ASV ["ASV" Publishers]. 2014. 240 p.
3. Buhmistrov V.V., Krupennikov S.A., Solnyshkova Ju.S. Algoritm raschjota sistem luchistogo otopenija pomeshhenij [The algorithm for calculating the radiant space heating systems]. Papers of ISPU. 2010. No. 4. Pp. 23–25.
4. Bodrov V.I., Smykov A.A. Teplofizicheskie harakteristiki teplovogo kontura zdaniij s gazovymi infrakrasnymi izluchateljami [Thermal characteristics of buildings thermal circuit with gas infrared heaters]. Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.) [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation, Energy Efficiency and Energy Saving]. 2014. No. 7. Pp. 52–54.
5. Bogoslovskij V.N. Stroitel'naja teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopenija, ventiljacii i kondicionirovanija vozduha): Ucheb. dlja vuzov. Izd. 2-e, pererab. i dop. [Construction thermal physics (fundamental thermal physics of heating, ventilation and air conditioning systems): Textbook for universities. 2nd edition, rev. and exp.]. Moscow. Izdatel'stvo Vysshaja shkola ["High School" Publishers]. 1982. 415 p.
6. Davljatchin R.R., Kurilenko N.I. Luchisto-konvektivnyj teploobmen gazovyh infrakrasnyh izluchatelej s mnogoslojnoj konstrukciej krovli [Radiant-convective heat transfer gas infrared emitters with a multilayer structure of the roof]. Privolzhskij nauchnyj zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2009. No. 2. Pp. 74–78.
7. Mihajlova L.Ju. Razrabotka metodiki raschjota radiacionnogo otopenija zdaniij proizvodstvennogo naznachenija [Development of the method of calculation of the radiation heating of industrial buildings]: Avtoref. diss. na soisk. uch. step. k.t.n. [Abstract of dissertation for the degree of PhD]. Tjumen'. 2006. 16 p.
8. Miheev M.A., Miheeva I.M. Osnovy teploperedachi [Fundamental thermal transfer]. Moscow. Izdatel'stvo Mashinostroenie ["Mechanical engineering" Publishers]. 1980. 320 p.
9. GOST R ISO [State industry standard of Russia. ISO] 18434-1–2013. Kontrol' sostojanija i diagnostika mashin: termografija. Chast' 1. Obshhie metody. [Condition monitoring and diagnostics of machines. Thermography. Part 1. General methods].