

Теплотехнические характеристики лучисто-конвективной панели при эксплуатации в действующей котельной

Рецензия эксперта на статью получена 29.06.2026 [The expert review of the article was received on June 29, 2026]

Система охраны труда является одним из главных направлений в функционировании различных промышленных зданий и сооружений. Наиболее сложным её разделом является обеспечение нормируемых параметров теплового комфорта. Особенно остро эта проблема стоит в помещениях с высокой теплонапряжённостью. Типовым решением для снижения влияния высокотемпературных процессов является использование воздушного «душирования». Первые разработки в нашей стране активно внедрялись В. В. Батуриным и И. А. Шепелевым (душирующие патрубки, водо-воздушные души, передвижная воздухоохлаждающая установка [1]). В дальнейшем при развитии исследований в области обеспечения комфортных условий труда производственного персонала появились различные модификации существующих вариантов и новые подходы к организации локальных систем механической вентиляции. Одним из типовых решений при первом варианте устройства душирующих систем являлось создание «Душирующих оазисов» [2].

Второй подход резко отличался от первого, так как в нём учитывались санитарные аспекты лучшего теплообмена [3]. Развитие этого направления активно тормозилось из-за отсутствия негромоздких методов расчёта радиационного теплообмена между охлаждающими элементами и конструкциями здания. Впервые этот вопрос был частично решён К. Калосом, Е. Экертом, Е. Ф. Ван дер Гельдом [4] и М. И. Киссиным [5], но их варианты использования были ограничены из-за большого количества необходимых ис-

ходных данных, которых часто не имелось у служб эксплуатации. Впоследствии В. Н. Богословский смог систематизировать весь научно-технический опыт и сформировать методологию расчёта с конкретными эмпирическими результатами [6]. После решения данной про-

Одной из наиболее сложных задач в сфере охраны труда является обеспечение нормируемых параметров теплового комфорта. Для обеспечения комфортных условий труда производственного персонала имеются как традиционные решения, так и новые подходы к организации локальных систем механической вентиляции

блемы сильных ограничений на использование охлаждающих панелей больше не было и данное направление активно развивалось. Впоследствии также появилось новое комбинированное направление, в котором использовались как элементы конвективного, так и элементы лучистого охлаждения.

Большой вклад в это направление внесли работы В. И. Прохорова, Л. Г. Мальяренко и А. Л. Наумова, создавших ряд устройств-панелей для лучисто-конвективного охлаждения (панели ПЛИ) [7–9].

Типовым местом применения этих устройств являются помещения малого объёма, например, посты управления [10].

УДК 697.97. Научная специальность: 2.1.3.

Исследование теплотехнических характеристик лучисто-конвективной панели при эксплуатации в действующей котельной

Геннадий Александрович Балашов, инженер-электрик, ОП «Останкино-Коровино», Останкинский мясоперерабатывающий комбинат (АО «ОМПК», г. Москва); **Сергей Владимирович Котов**, главный инженер ОП «Останкино-Коровино», АО «ОМПК» (г. Москва); **Мухаммет Азатович Разаков**, инженер, лаборатория «Экологическая безопасность и энергоэффективность инженерного оборудования зданий», Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук («НИИСФ РААСН»), старший преподаватель, кафедра «Энергетические и гидротехнические сооружения» (ЭГТС), Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»)

В статье представлены результаты натурных исследований теплотехнических параметров (температура воздуха на входе и выходе из устройства, температура поверхностей, расход нагреваемого потока внутреннего воздуха) панели лучисто-инфракрасной (ПЛИ) при её установке в рабочей зоне, расположенной над котельным оборудованием. Отмечены изменения скорости воздуха на входе и выходе из панели, которые были определены с помощью поверенного измерительного оборудования. Даны рекомендации по конструированию и применению устройства в помещениях с высокой теплонапряжённостью.

Ключевые слова: высокая теплонапряжённость, воздушное душирование, лучисто-конвективная панель, потолочные излучающие панели (ПЛИ), система локальной вентиляции.

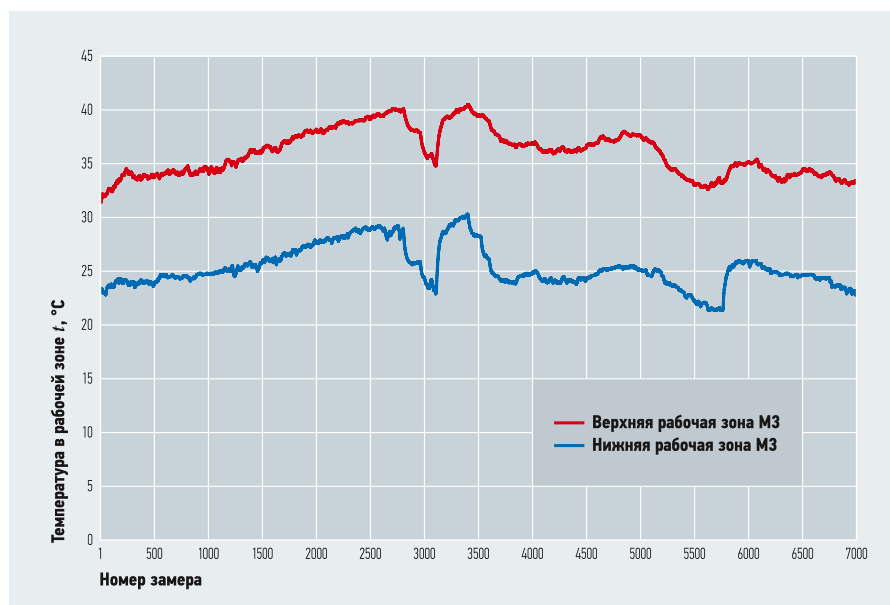
UDC 697.97. Scientific specialty: 2.1.3.

Investigation of the thermal characteristics of a radiant-convective panel under operating conditions in an operating boiler house

Gennady A. Balashov, Electrical Engineer, "Ostankino-Korovino" separate division (SD) of "Ostankino" Meat Processing Plant ("OMPP", JSC); **Sergey V. Kotov**, Chief Engineer of "Ostankino-Korovino" SD, "OMPP", JSC; **Mukhammet A. Razakov**, Engineer, "Environmental Safety and Energy Efficiency of Building Engineering Equipment" Laboratory, Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Civil Engineering Sciences ("NIISF RAASN"), Senior Lecturer, the "Energy and Hydraulic Engineering Structures" Department, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI")

The article presents the results of field studies of thermal engineering parameters (air temperature at the inlet and outlet of the device, surface temperature of surfaces, flow rate of heated internal air flow) of a radiant-convective panel when it is installed in the working area located above the boiler equipment. Changes in the air velocity at the entrance and exit of the panel were noted, which were determined using trusted measuring equipment. Recommendations on the design and use of the device in rooms with high thermal stress are given.

Key words: high thermal stress, air showering, radiant-convective panel, ceiling radiating panels, local ventilation system.



❖ Рис. 1. График изменения температуры воздуха в двух исследуемых рабочих зонах машинного зала (МЗ) котельной

В последних трудах В. И. Прохорова отмечено, что использование охлаждающих панелей ПЛИ возможно и в помещениях большого объема для локальных систем вентиляции [11]. В современных отечественных исследованиях также возможно встретить работы, посвященные конвективному охлаждению и проблемам образования локальных вентилируемых зон [12–14].

В данной работе рассмотрена эффективность применения панели ПЛИ последней конструкции (с двумя воздухо-распределительными щелями) в помещении котельной для зоны обслуживания верхнего барабана котельного агрегата, в которой изначально наблюдались высокие значения температуры воздуха.

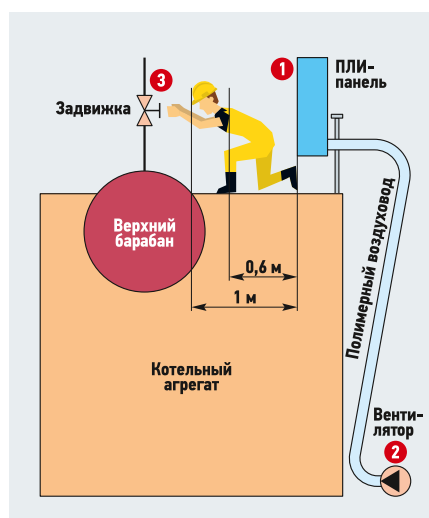
Исходные данные и инструменты для полевого исследования

В ходе первичных исследований зон с высокими значениями температуры в котельной (с 11 по 16 февраля) было обнаружено место, где инженерно-технический персонал проводит достаточно продолжительное время для регулирования некоторых задвижек котельного агрегата. Этим местом являлся верхний барабан теплогенерирующего агрегата. На рис. 1 представлен график изменения температуры в данной и нижней зонах, где находится рабочий персонал и проводит как наблюдение за работой котельного оборудования, так и регулирование некоторых технологических процессов.

Замеры температуры воздуха проводились с периодичностью в одну минуту. Всего было выполнено 7081 замер температуры воздуха с помощью самозаписывающих логгеров данных Testo 174T (погрешность прибора $\pm 0,5^\circ\text{C}$). Согласно полученным данным, наибольшее отли-

чие температуры воздуха между двумя зонами составило $13,3^\circ\text{C}$, а наименьшее — $8,2^\circ\text{C}$. Несмотря на то, что в некоторые периоды наблюдаются превышения температуры выше $25\text{--}28^\circ\text{C}$ (согласно требованиям ГОСТ 12.1.005–88, это верхние границы температуры воздуха в помещениях с высокими тепловыми избытками для различных периодов года), её более нижний тепловой потенциал по сравнению с верхней зоной является достаточно ощутимым. Подобное явление можно наблюдать и в машинных залах городских канализационных насосных станций [11].

В работе рассмотрена эффективность применения панели ПЛИ последней конструкции (с двумя воздухо-распределительными щелями) в помещении котельной для зоны обслуживания верхнего барабана котельного агрегата



❖ Рис. 2. Принципиальная схема натурного испытательного стенда (1 — логгер данных №1 на выходе из щели панели ПЛИ; 2 — логгер данных №2 у вентилятора; 3 — логгер данных №3 над барабаном котельного агрегата)

В связи с этим было принято решение использовать имеющийся охлаждающий потенциал из нижней зоны и направить его в верхнюю зону с помощью панели ПЛИ и вентилятора, которые создадут локальную зону обдува с низконапорными струями воздуха. Малые скорости воздухо-распределения обеспечат комфортные условия, в отличие от высокоскоростных душирующих установок.

На рис. 2 представлена принципиальная схема испытательного стенда, смонтированного в котельной 13 мая 2026 года. На фото 1–3 представлены фотографии места расположения панели ПЛИ.



❖ Фото 1. Фотография с места установки лучисто-конвективной панели в котельной (рабочая зона обслуживания у верхнего барабана котельного агрегата; вид А: I — задвижка, II — верхний барабан котельного агрегата, III — задвижка)

Экспериментальные данные (теплотехнические характеристики)

табл. 1

Этап	Средние измеренные значения температуры поверхностей панели ПЛИ, °С	Среднее измеренное значение температуры поверхности верхнего барабана котельного агрегата, °С	Среднее измеренное значение температуры воздуха в зоне установки панели ПЛИ, °С	Среднее измеренное значение температуры воздуха у вентилятора, °С	Среднее измеренное значение температуры воздуха в зоне над верхним барабаном котельного агрегата, °С
До установки панели ПЛИ	—	85±2%	37±0,5	26,1±0,5	42,3±0,5
После установки панели ПЛИ (через один час 30 минут)					
Панель №1	37,1±0,5	85±2%	32±0,5	26,3±0,5	42,4±0,5
Панель №2	39,8±0,5	85±2%	32±0,5	26,3±0,5	42,4±0,5
Панель №3	38,5±0,5	85±2%	32±0,5	26,3±0,5	42,4±0,5
Панель №4	36,1±0,5	85±2%	32±0,5	26,3±0,5	42,4±0,5
Панель №5	36,7±0,5	85±2%	32±0,5	26,3±0,5	42,4±0,5
Панель №6	47,9±0,5	85±2%	32±0,5	26,3±0,5	42,4±0,5

Для исследования влияния воздействия панели ПЛИ на температурные показатели в верхней зоне проведения операторами котельных агрегатов типовых работ было использовано следующее измерительное оборудование:

1. Для измерения скорости истечения воздуха из панели ПЛИ — анемометр Testo 410i (погрешность измерения скорости $\pm(0,2 \text{ м/с} + 2\%)$ и температуры $\pm 0,5^\circ\text{C}$ при скорости истечения, находящейся в диапазоне от 0,4 до 20 м/с);
2. Для измерения статического и динамического давления в воздуховоде на входе в панель ПЛИ — манометр Testo 510i с трубкой Пито (погрешность измерения давления $\pm 0,05 \text{ гПа}$ при измеренном значении, находящемся в диапазоне от 0 до 1 гПа, а также $\pm 0,2 + 0,015 \text{ ИВ}$ при измеренном значении от 1 до 150 гПа);

3. Для измерения температуры воздуха (с периодичностью измерения 1 мин.) на входе в вентилятор и в верхней зоне проведения стандартных работ инженеров по эксплуатации котельного оборудования — логгер данных Testo 174T (погрешность измерения температуры $\pm 0,5^\circ\text{C}$);
4. Для измерения температуры поверхности верхнего барабана котла и поверхностей ПЛИ-панели был использован тепловизор Fluke TIS20+ (погрешность оборудования составляла $\pm 2\%$).

На рис. 3 представлено условное разделение поверхностей панели ПЛИ для измерения осреднённой температуры.

В рамках исследования проводились следующие мероприятия:

- установка ПЛИ-панели в верхнюю рабочую зону и установка вентилятора (YWL4E-200QD) в нижней рабочей зоне;

- прокладка полимерного воздуховода;
- установка самозаписывающих логгеров данных и тепловизора;
- установка измерителя полного давления в воздуховоде перед ПЛИ-панелью;
- измерение скорости истечения воздуха после ПЛИ-панели.

Измерение теплотехнических параметров проводилось после одного часа и 30 минут работы лучисто-конвективной панели (панели ПЛИ) в области верхнего барабана котельного агрегата.

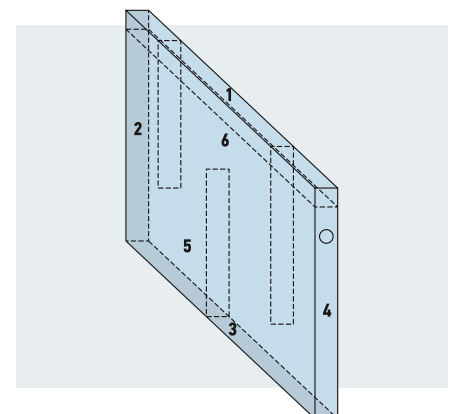


Рис. 3. Принципиальная схема панели ПЛИ с обозначениями поверхностей измерения температуры (1–6 — поверхности панели ПЛИ)

Экспериментальные данные (аэродинамические характеристики панели ПЛИ)

табл. 2

Место измерения	Расход воздуха L , м³/ч	Скорость воздуха v , м/с	Давление, Па		
			$P_{\text{дин}}$	$P_{\text{ст}}$	$P_{\text{сум}}$
Перед ПЛИ панелью	636,20	10,00	58,00	168,00	226,00
На выходе из щели (верхняя щель)	107,11	3,04	5,51	—	5,51
На выходе из щели (нижняя щель)	83,90	2,38	3,38	—	3,38
Сумма на выходе из двух щелей	191,01	—	—	—	—



Фото 2. Фотография с места установки лучисто-конвективной панели в котельной (рабочая зона обслуживания у верхнего барабана котельного агрегата; вид Б: А — равномерно расположенные контрольные точки измерения скорости истечения воздуха из панели ПЛИ)



Фото 3. Фотография с места установки вентилятора в рабочую зону в помещении котельной, в которой изначально наблюдались высокие значения температуры воздуха (нижняя рабочая зона: 1 — центробежный вентилятор; 2 — полимерный воздухопровод длиной 8 м)

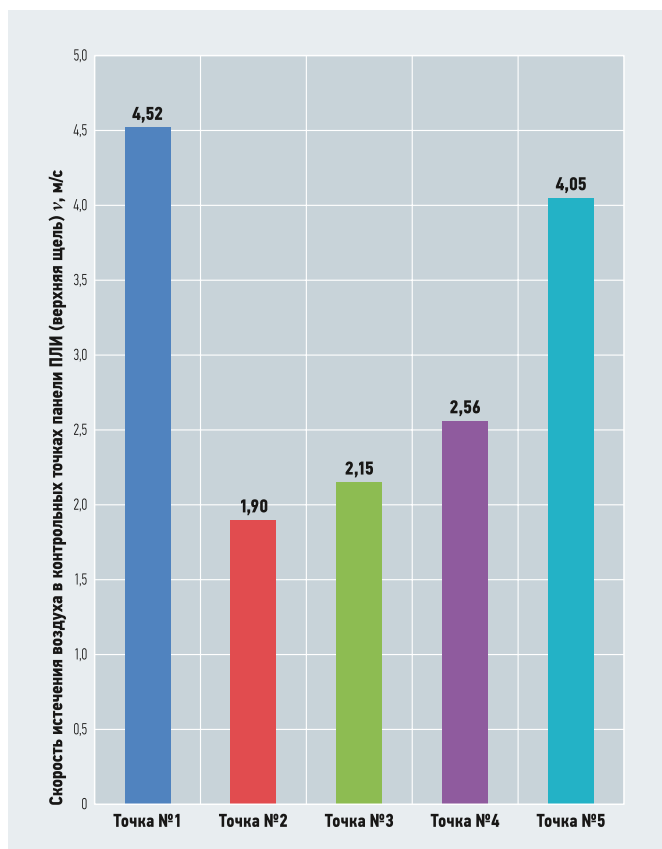


Рис. 4. Распределение скоростей истечения воздуха в контрольных точках панели ПЛИ (верхняя щель)

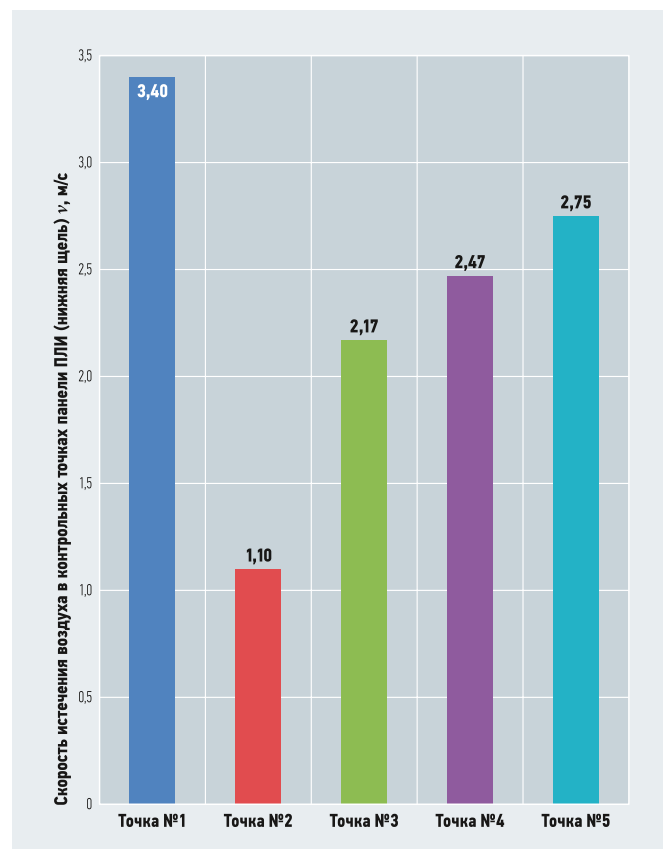


Рис. 5. Распределение скоростей истечения воздуха в контрольных точках панели ПЛИ (нижняя щель)

Результаты

В рамках исследования были получены экспериментальные данные теплотехнических характеристик поверхностей теплообмена, панели ПЛИ, локальных температур воздуха в различных зонах машинного зала производственной котельной. Следует отметить, что в ходе исследования было обнаружено, что прекращение изменения температуры поверхностей панели ПЛИ наступило после одного часа работы устройства.

В табл. 1 и 2 представлены результаты обработки данных измерений, выполненных в исследовании.

На рис. 4 и 5 представлены данные скоростей истечения воздуха из щелей в контрольных точках.

Выводы

В ходе исследования было отмечено улучшение температурного режима локальной зоны обслуживания задвижек над верхним барабаном котельного агрегата. При работе устройства «панель ПЛИ» удалось добиться стабильного снижения температуры воздуха в среднем на 3,3°C (на расстоянии 0,6 м от панели ПЛИ в зоне действия струи) по сравнению с изначальным состоянием. Наблюдается сильное отличие температуры первой из поверхностей (поверхность №6 по рис. 3) панели ПЛИ относительно остальных,

которое составило в среднем более 10°C. Для дальнейшего совершенствования конструкции панели ПЛИ рекомендуется исследовать возможность изменения размеров щелевого отверстия и рассмотреть вариант изменения материала конструкции устройства. ●

Благодарности

Авторы выражают благодарность главному энергетину Антону Выдрину, санитарно-техническому персоналу ОП «Останкино-Коровино» за помощь в транспортировании элементов устройства, а также кафедре ЭГТС НИУ «МЭИ» за предоставленное измерительное оборудование.

- Батурин В.В., Кучерук В.В. Вентиляция машиностроительных заводов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиздат, 1954. 483 с.
- Шепелева И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. — М.: Стройиздат, 1978. 144 с.
- Малышева Е.А. Гигиенические вопросы радиационного теплообмена человека с окружающей средой (радиационное охлаждение): монография. — М.: Медгиз, 1963. 244 с.
- Ощеп С.А. К теории расчётов систем лучистого отопления и вентиляции, 1940. 56 с.
- Киссин М.И. Расчёт нагревательных панелей при лучистом отоплении // Вопросы отопления и вентиляции: труды ЦНИИПЭС. Сб. №1. — М.: Стройиздат, 1951. С. 5–13.
- Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учебник для вузов. 3-е изд. — СПб.: АВОК «Северо-Запад», 2006. 287 с.
- Патент СССР №255524. МПК F24f 13/06. Панель ПЛИ / В.И. Прохоров. Заяв. и патентообл.: В.И. Прохоров. №837847/29–14. Заявл.: 17.05.1963; опублик.: 28.11.1972.
- Патент СССР №522378. МПК F24f 13/06. Панель ПЛИ / В.И. Прохоров, О.Н. Щельцына, О.Е. Песков, Л.Г. Маляренко. Заяв. и патентообл.: ЦНИИпромзданий; НИТИ. №1980291/06. Заявл.: 27.12.1973; опублик.: 25.07.1976.
- Патент СССР №678259. МПК F24f 13/06. Панель ПЛИ / В.И. Прохоров, Л.Г. Маляренко, А.Л. Наумов [и др.]. Заяв. и патентообл.: ЦНИИпромзданий. №2593713. Заявл.: 23.03.1978; опублик.: 05.08.1979.
- Наумов А.Л. Радиационно-конвективное охлаждение кабин постов управления в горячих цехах: дисс. канд. техн. наук по спец. 05.23.03. — М.: ЦНИИпромзданий, 1979. 188 с.
- Прохоров В.И., Разаков М.А. Моделирование тепловых режимов охлаждающих панелей в канализационных насосных станциях // Вестник МГСУ, 2021. Т. 16. №10. С. 1378–1387.
- Rymarov A.G., Agafonova V.V. The personalized supply ventilation system design in the office space. Proc. of the International Scientific Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development (CATPID-2019). October 1–5, 2019. Kislovodsk, Russia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. Issue 5. Art. 055030.
- Rymarov A., Havanov P., Titkov D. Formation of local temperature regime in the room: Personal ventilation system. Proc. of the XXIV International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2021). April 22–24, 2021. Moscow, Russia. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. Art. 04026.
- Ilin E.A., Grimitlin A.M. Clean-room class D air distributor performance evaluation: Case study of RTC Polisan. Proc. of the International Scientific and Practical Conference on "Engineering, Construction and Infrastructure Solutions for Innovative Medicine Facilities" (EC-SF-2021). May 19–21, 2021. St. Petersburg, Russia. In: Proceedings of ECSF-2021. Series: Lecture Notes in Civil Engineering. Springer Nature. Cham, Switzerland. 2023. Pp. 111–122.

References — see page 78.

Investigation of the thermal characteristics of a radiant-convective panel under operating conditions in an operating boiler house. Pp. 32–35.

Gennady A. Balashov, Electrical Engineer, “Ostankino-Korovino” separate division (SD) of “Ostankino” Meat Processing Plant (“OMPP”, JSC); **Sergey V. Kotov**, Chief Engineer of “Ostankino-Korovino” SD, “OMPP”, JSC; **Mukhammet A. Razakov**, Engineer, “Environmental Safety and Energy Efficiency of Building Engineering Equipment” Laboratory, Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Civil Engineering Sciences (“NIISF RAASN”), Senior Lecturer, the “Energy and Hydraulic Engineering Structures” Department, National Research University “Moscow Power Engineering Institute” (NRU “MPEI”)

1. V.V. Baturin, V.V. Kucheruk. *Ventilyatsiya mashinostroitel'nykh zavodov* [Ventilation of machine-building plants]. 2nd edition., rev. and exp. Moscow. Mashgiz [State Scientific and Technical Publishing House of Mechanical Engineering Literature of the USSR]. 1954. 483 p. [In Russian]
2. I.A. Shepeleva. *Aerodinamika vozdukhnykh potokov v pomeshchenii* [Aerodynamics of air flows in a room]. Moscow. Stroizdat [Publishing House of Literature on the Construction and Architecture (“Stroizdat” Publishers)]. 1978. 144 p. [In Russian]
3. E.A. Malysheva. *Gigienicheskie voprosy radiatsionnogo teploobmena cheloveka s okruzhayushchej sredoy (radiatsionnoe okhlazhdenie): monografiya* [Hygienic issues of radiative heat exchange between humans and the environment (radiative cooling): A monograph]. Moscow. Medgiz [State Medical Publishing House of the People’s Commissariat of Health of the RSFSR]. 1963. 244 p. [In Russian]
4. S.A. Otsep. *K teorii raschetov sistem luchistogo otopeniya* [On the theory of calculations of radiant heating systems]. Moscow. NITO teplosnabzheniya, otopeniya i ventilyatsii [All-Union Scientific Engineering and Technical Society of Heat Supply, Heating and Ventilation of the USSR]. 1940. 56 p. [In Russian]
5. M.I. Kissin. *Raschet nagrevatel'nykh panelej pri luchistom otopenii* [Calculation of heating panels for radiant heating]. *Voprosy otopeniya i ventilyatsii: trudy TsNIIPS. Sb. №1* [Heating and Ventilation Issues: Proc. of the Central Research Institute of Building Structures of the USSR. Coll. vol. No. 1]. Moscow. Stroizdat [Publishing House of Literature on the Construction and Architecture (“Stroizdat” Publishers)]. 1951. Pp. 5–13. [In Russian]
6. V.N. Bogoslovsky. *Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh): ucheb. dlya vuzov* [Construction thermal physics (Thermophysical fundamentals of heating, ventilation and air conditioning): A textbook for universities]. 3rd edition. St. Petersburg. AVOK “Severo-Zapad” [Publishing House of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics of the north-west part of Russia (“ABOK North-West”)]. 2006. 287 p. [In Russian]
7. Patent of the USSR No. 255524. IPC F24f 13/06. *Panel' PLI* [Ceiling radiant panel]. V.I. Prokhorov. Patent holder: V.I. Prokhorov. No. 837847/29–14. Decl.: May 17, 1963; publ. November 28, 1972. [In Russian]
8. Patent SSSR No. 522378. IPC F24f 13/06. *Panel' PLI* [Ceiling radiant panel]. V.I. Prokhorov, O.N. Shchel'syna, O.E. Peskov, L.G. Malyarenko. Patent holder: TsNIIpromzdaniy [Central Research and Design-Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures of the State Construction Committee of the USSR]; NITI [State Union Research Tractor Institute of the USSR]. No. 1980291/06. Decl.: December 27, 1973; publ.: July 25, 1976. [In Russian]
9. Patent SSSR No. 678259. IPC F24F 13/06. *Panel' PLI* [Ceiling radiant panel]. V.I. Prokhorov, L.G. Malyarenko, A.L. Naumov [et al.]. Patent holder: TsNIIpromzdaniy [Central Research and Design-Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures of the State Construction Committee of the USSR]. No. 2593713. Decl.: March 23, 1978; publ.: August 5, 1979. [In Russian]
10. A.L. Naumov. *Radiatsionno-konvektivnoe okhlazhdenie kabin postov upravleniya v goryachikh tsekhakh* [Radiation-convective cooling of control cabins in hot shops]. *Diss. kand. tekhn. nauk po spets. 05.23.03* [PhD dissertation in specialty No. 05.23.03]. Moscow. TsNII-promzdaniy [Central Research and Design-Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures of the State Construction Committee of the USSR]. 1979. 188 p. [In Russian]
11. V.I. Prokhorov, M.A. Razakov. *Modelirovanie teplovykh rezhimov okhlazhdayushchikh panelej v kanalizatsionnykh nasosnykh stantsiyakh* [Modeling of thermal conditions of cooling panels in sewage pumping stations]. *Vestnik MGSU* [Vestnik MGSU. Monthly Journal on Construction and Architecture (Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering)]. 2021. Vol. 16. No. 10. Pp. 1378–1387. [In Russian]
12. A.G. Rymarov, V.V. Agafonova. The personalized supply ventilation system design in the office space. Proc. of the International Scientific Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development (CATPID-2019). October 1–5, 2019. Kislovodsk, Russia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. Issue 5. Art. 055030.
13. A. Rymarov, P. Havanov, D. Titkov. Formation of local temperature regime in the room: Personal ventilation system. Proc. of the XXIV International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2021). April 22–24, 2021. Moscow, Russia. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 263. Art. 04026.
14. E.A. Ilin, A.M. Grimitlin. Clean-room class D air distributor performance evaluation: Case study of RTC Polisan. Proc. of the International Scientific and Practical Conference on “Engineering, Construction and Infrastructure Solutions for Innovative Medicine Facilities” (ECSF-2021). May 19–21, 2021, St. Petersburg, Russia. In: Proc. of ECSF-2021. Series: Lecture Notes in Civil Engineering. Springer Nature. Cham, Switzerland. 2023. Pp. 111–122.