

УДК 697.7

**СИСТЕМЫ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ  
НА БАЗЕ ВОДЯНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ  
ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**RADIANT HEATING SYSTEMS  
BASED ON WATER INFRARED EMITTERS  
FOR TEXTILE INDUSTRY**

*М.В. БОДРОВ, М.С. МОРОЗОВ, А.А. СМЫКОВ*

*M.V. BODROV, M.S. MOROZOV, A.A. SMYKOV*

**(Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)**

**(Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering)**

E-mail: tes84@inbox.ru

*Внедрение лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей является эффективным и экономически-обоснованным, способствует снижению энергопотребления зданиями и снижению энергоемкости*

*текстильной промышленности в целом. В статье рассмотрены преимущества данного типа систем отопления на примере крупнообъемных помещений в текстильной промышленности.*

*The introduction of radiant heating based on water infrared emitters is efficient and economically feasible, helps to reduce the energy consumption of buildings and reduce the energy intensity of the textile industry as a whole. The article discusses the advantages of this type of heating system using the example of large-volume premises in the textile industry.*

**Ключевые слова:** теплофизика, лучистое отопление, водяное отопление, инфракрасное излучение, излучатель, энергоэффективность.

**Keywords:** thermal physics, radiant heating, water heating, infrared radiation, emitter, energy efficiency.

Отопление крупнообъемных помещений текстильной промышленности (складов, цехов и пр.) в основном осуществляется традиционными системами отопления: конвективными и воздушными [1...5]. В свою очередь, применение таких систем отопления ведет за собой ряд недостатков, таких как: излишняя подвижность воздушных масс, повышенная запыленность, неравномерность нагрева в рабочей зоне помещения, большой градиент температуры воздуха по высоте помещения и т.д. Часть из этих недостатков является критичной, когда мы ведем речь о текстильном производстве, например – высокая запыленность за счет повышенной подвижности воздуха в помещении.

Применение систем лучистого отопления решает ряд вышеописанных проблем. Системы лучистого отопления: не провоцируют излишней подвижности воздуха, в отличие от системы воздушного отопления; позволяют обеспечить более равномерный нагрев рабочей зоны, в отличие от системы конвективного отопления, построенной на базе радиаторов или гладкотрубных регистров; обеспечивают меньший градиент температуры воздуха по высоте помещения, чем любой из видов конвективного или воздушного отопления.

Немаловажным аспектом применения систем отопления на базе инфракрасных излучателей (ИИ) является их высокая энергоэффективность. Проблема высокой энергоёмкости российской промышленности отражена в ряде работ и нормативных актов

[6...8]. Системы лучистого отопления позволяют снизить затраты тепловой энергии на величину до 40 % [9...17], что позволяет говорить о перспективности их применения в качестве мероприятия по повышению энергоэффективности производства.

Снижение потребления теплоты достигается за счет ряда особенностей систем лучистого отопления, таких как: низкая тепловая инерция; снижение трансмиссионных тепловых потерь через покрытие здания, из-за небольшого градиента температуры воздуха по высоте помещения; снижение температуры воздуха рабочей зоны на зоны на величину до 4 °С, по сравнению с нормативными значениями, предусмотренными при проектировании конвективных систем отопления [18], [19], что становится возможным за счет большей плотности потока теплового излучения в помещениях с системой отопления на базе ИИ. Также стоит отметить, что применение таких систем и значительное сокращении затрат теплоты достигается без снижения уровня теплового комфорта.

Самым привлекательным, с точки зрения энергоэффективности, является отопление на базе газовых инфракрасных излучателей (ГИИ) [20...25]. В данных системах отсутствует промежуточный теплоноситель и теплота в помещение подается напрямую от первичного энергоносителя – природного газа. Однако применение лучистых систем отопления на базе ГИИ строго ограничено, в частности, оно недопустимо в пожароопасных помещениях категории

В, к которым относится большинство крупнообъемных помещений в текстильной промышленности. Также стоит учесть, что подключение газа во многих регионах России связано со значительными финансовыми затратами.

Ввиду вышеописанных особенностей ГИИ стоит рассмотреть другой энергоэффективный вид лучистого отопления – отопление на базе водяных инфракрасных излучателей (ВИИ). В качестве отопительных приборов в данных системах используются излучающие панели (рис. 1) или профили. Стоит также отметить, что наиболее перспективным ВИИ является именно излучающий профиль ввиду меньшей металлоемкости и большей удельной теплоотдачи. Теплоносителем в таких системах является горячая вода с температурой 40...150 °С.

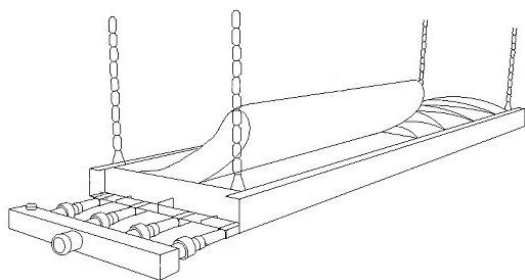


Рис. 1

Принцип работы лучистых систем отопления на базе ВИИ основан на передаче теплоты от теплоносителя к отопительному прибору, который, в свою очередь, отдает в объем обслуживаемого помещения преимущественно посредством электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне. Стоит учесть, что воздух является прозрачной средой для инфракрасного излучения, поэтому его нагрев осуществляется за счет теплопередачи от нагретых (облученных) поверхностей помещения.

Применение лучистых систем отопления на базе ВИИ является эффективным и экономически-обоснованным в крупнообъемных помещениях [11...14], [17].

Для исследования модели лучистой системы отопления на базе ВИИ в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете совместно с

единственной компанией-производителем излучающих профилей в России "Флайг + Хоммель" был открыт Учебно-научно-исследовательский центр "Системы отопления с использованием низкотемпературных инфракрасных излучателей", с состав которого вошла Лаборатория лучистого отопления. Для проведения ряда лабораторных экспериментов была сконструирована экспериментальная установка.

Основной задачей, которая встала перед сотрудниками Лаборатории стало создание полноценной теплофизической картины работы системы на базе ВИИ. В частности, для этого необходимо определить тепло-технические характеристики отопительных приборов, например удельную теплоотдающую способность 1 п.м прибора. Объектом исследований стал излучающий профиль марки Helios 750 (рис. 2).

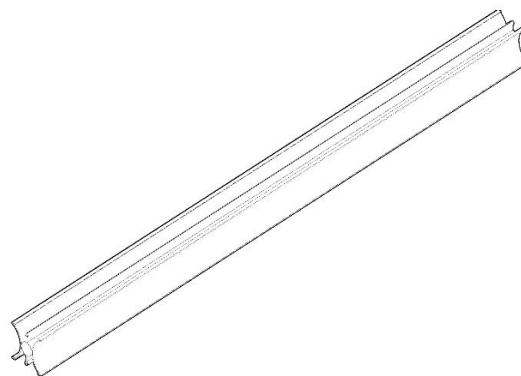


Рис. 2

Основные характеристики ВИИ Helios 750 приведены в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Наименование	Ед. изм.	Характеристика
Высота профиля	мм	170
Ширина профиля	мм	170
Удельная площадь	м <sup>2</sup> /п.м	1,3
Удельная емкость	л/п.м	2,6
Удельная масса профиля	кг/п.м	7,1
Удельная масса профиля с водой	кг/п.м	9,2

В результате проведенных экспериментов по определению удельной теплоотдачи ВИИ при различных температурах теплоносителя и окружающей среды были получены: уравнение для определения тепловой

мощности (1) и таблица удельной тепловой мощности Helios 750 при фиксированных значениях  $\Delta T$ .

$$q_{\text{изл}}^{\text{H750}} = 2,8881 \cdot \Delta T^{1,2423} \quad (1)$$

Т а б л и ц а 2

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$q_{\text{изл}}, \text{Вт/п.м}$
10	50,5
15	83,5
20	119,4
25	157,5
30	197,6
35	239,3
40	282,4
45	326,9
50	372,7
55	420,0
60	467,4
65	516,3
70	566,0
75	617,0
80	668,2
85	720,5
90	773,5
95	827,2
100	881,6

Обоснование экономической эффективности применения систем лучистого отопления на базе ВИИ можно провести с помощью общепринятой методики [26]. В качестве примера было взято здание склада текстильной продукции, расположенного в городе Нижний Новгород ( $t_n = -32^\circ\text{C}$  [27]). Здание имеет в осях размеры 137,5x24 м и 66,5x14 м и один уровень высотой 10,25 м.

Температуру воздуха рабочей зоны  $t_{в,р}$ ,  $^\circ\text{C}$  принимаем по нормативной документации. Категория работ по уровню энергозатрат – Пб, следовательно,  $t_{в,р} = 17...19^\circ\text{C}$ , принимаем  $t_{в,р} = 18^\circ\text{C}$ . Как уже было сказано выше, при применении лучистого отопления, в рабочей зоне производственных помещений допускается снижение величины  $t_{в,р}$  до  $4^\circ\text{C}$  по сравнению со значениями, предусмотренными нормативными документами. Для расчета мощности лучистой системы отопления принимаем  $t'_{в,р} = 14^\circ\text{C}$ .

Требуемая мощность системы отопления в данных условиях была определена как 234330 Вт для конвективной системы отопления и 213814 Вт для лучистой системы отопления.

Затраты, связанные с покупкой тепловой энергии на стадии технико-экономического обоснования, определяются из уравнения:

$$\mathcal{E}_{\text{т.от}} = \frac{0,0864 \cdot \sum Q_{\text{от}} \cdot \text{ГСОП} \cdot C_{\text{т}}}{4,19 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н5х}})}, \text{ руб./год}, \quad (2)$$

где  $0,0864 = 86\,400 \cdot 10^{-6}$ , где 86 400 – число секунд в сутках;  $\sum Q_{\text{от}}$  – суммарная мощность системы отопления, кВт; ГСОП – показатель градус-суток отопительного периода;  $C_{\text{т}}$  – стоимость тепловой энергии, руб./Гкал, для г. Нижний Новгород на 2-е полугодие 2019 г. – 2382,42 руб./Гкал (без НДС);  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{н5х}}$  – температура наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92,  $^\circ\text{C}$ , является расчетной при определении требуемой тепловой мощности системы отопления.

Для наших исходных данных:  $\mathcal{E}_{\text{т.от}}^{\text{к}} = 1088324 \text{ руб./год}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{т.от}}^{\text{л}} = 886674 \text{ руб./год}$ .

Капитальными затратами в данном случае пренебрежем, так как они единовременны и примерно одинаковы для обеих типов систем. Суммарные дисконтированные затраты СДЗ, приведенные к концу расчетного срока (10 лет), определяются по следующей формуле:

$$\text{СДЗ} = \sum_{i=1}^T \mathcal{E}_i \cdot (1 + p/100)^i, \text{ руб.}, \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_i$  – суммарные годовые эксплуатационные затраты за  $i$ -й год, руб./год;  $p$  – норма дисконта, %, она учитывает упущенную выгоду от того, что эти средства вложены в энергосбережение вместо размещения под проценты в банке, в расчетах ее можно принимать на уровне не ниже ставки рефинансирования ЦБ РФ, по состоянию на начало 2020 г. она равна 6,25 %.

В нашем случае  $\text{СДЗ}^{\text{к}} = 18906350 \text{ руб.}$ ,  $\text{СДЗ}^{\text{л}} = 16048954 \text{ руб.}$  Даже если не брать в расчет такие экономические преимущества систем отопления на базе ВИИ, как низкая тепловая инерция (играет роль при переходе от дежурного режима к рабочему и

обратно), удобство регулирования, простота монтажа и эксплуатации, из вышесказанного можно сделать вывод, что в нашем случае можно получить преимущество по совокупным дисконтированным затратам за 10 лет в 2,86 млн. руб., или же 15,11 %.

## ВЫВОДЫ

1. Применение лучистого отопления для обогрева крупнообъемных помещений является экономически-обоснованным, что было доказано технико-экономическим расчетом.

2. Не все виды ИИ применимы в текстильной промышленности. В качестве отопительных приборов рекомендуется применять ВИИ, в том числе излучающие профили марки Helios 750.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский В.И. Отопление и вентиляция. – М.: Легкая индустрия, 1970.

2. Колесникова Т.К. Отопление, вентиляция и сушка на предприятиях службы быта. – М.: Легкая индустрия, 1989.

3. Панин Б.Г. Основы теплотехники, отопление, вентиляция, сушка и охлаждение. – М.: Легкая индустрия, 1980.

4. Сорокин Н.С. Вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных предприятиях. – М.: Легкая индустрия, 1974.

5. Учаскин П.В. Вентиляция, кондиционирование воздуха и отопление на предприятиях легкой промышленности. – М.: Легкая индустрия, 1980.

6. Румянцев Е.В., Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Опарина Л.А., Чистякова Ю.А., Котлов В.Г. Эколого-экономические эффекты энергосбережения в производственных зданиях текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019. № 2. С. 149...152.

7. Указ Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. № 889 "О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики" // СПС Консультант Плюс.

8. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" // СПС Консультант Плюс.

9. Бодров В.И., Михайлова Л.Ю., Смыков А.А. Температурный режим наружных ограждений поме-

щений с системами отопления на базе газовых инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. – 2015. № 2 (34). С. 58...64.

10. Бодров В.И., Бодрова В.Ф., Смыков А.А. Исследование теплового режима наружных ограждающих конструкций в промышленных помещениях с системами отопления на базе инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. – 2018. № 2 (46). С. 23...36.

11. Бодров В.И., Бодров М.В., Смыков А.А. Исследование систем лучистого отопления на базе низкотемпературных инфракрасных излучателей // Приволжский научный журнал. – 2019. № 3 (51). С.52...57.

12. Бодров В.И., Бодров М.В., Смыков А.А. Исследование теплотехнических характеристик низкотемпературных инфракрасных излучателей // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2019. №10 (214). С. 32...36.

13. Jia H., Pang X., Haves P. Experimentally-determined characteristics of radiant systems for office buildings // Applied Energy. – 2018. (221). С. 41...54.

14. Bojić M., Cvetković D., Marjanović V., Blagojević M., Djordjević Z. Performances of low temperature radiant heating systems // Energy and Buildings. – 2013. (61). P. 233...238.

15. Jung N., Paiho S., Shemeikka J., Lahdelma R., Airaksinen M. Energy performance analysis of an office building in three climate zones // Energy and Buildings. – 2018. (158). P. 1023...1035.

16. Imanari T., Omori T., Bogaki K. Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system // Energy and Buildings. – № 2(30), 1999. P.167...175.

17. Kavga A., Karanastasi E., Konstas I., Panidis T. Performance of an infrared heating system in a production greenhouse // IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). – № 18 PART 1(46), 2013. P. 235...240.

18. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: 2001.

19. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий (Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003). – М., 2012.

20. Kurilenko N.I., Zverev D.M., Idrisov A.Z. Comparative analysis of methods of calculating the systems for radiation heating // Gazovaya Promyshlennost. – №5, 2001. P. 58...60.

21. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Maksimov V.I., Mamontov G.Y., Nagornova T.A. Heat transfer under heating of a local region of a large production area by gas infrared radiators // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – № 3(86), 2013. P. 519...524.

22. Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhaylova L.Y. Temperature patterns in the gas infrared radiator heating area // EPJ Web of Conferences. – 2015. (82).

23. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhailova L.Y. Experimental determination of the temperature in a small neighborhood of the gas infrared sources // EPJ Web of Conferences. – 2015. (82).

24. Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I. Verification of Conjugate Heat Transfer Models in a Closed Volume with Radiative Heat Source // MATEC Web of Conferences. – 2016. (72).

25. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Nee A.E. Mathematical modelling of conjugate heat transfer and fluid flow inside a domain with a radiant heating system // International Journal of Thermal Sciences. – 2018. (131). P. 27...39.

26. Самарин О.Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: АСВ, 2015.

27. ТСН 31-301-96. Строительная климатология для пунктов Нижегородской области. – Н.Новгород, 1997.

#### REFERENCES

1. Bogoslovskiy V.I. Otoplenie i ventilyatsiya. – М.: Legkaya industriya, 1970.

2. Kolesnikova T.K. Otoplenie, ventilyatsiya i sushka na predpriyatiyakh sluzhby byta. – М.: Legkaya industriya, 1989.

3. Panin B.G. Osnovy teplotekhniki, otoplenie, ventilyatsiya, sushka i okhlazhdenie. – М.: Legkaya industriya, 1980.

4. Sorokin N.S. Ventilyatsiya, otoplenie i konditsionirovanie vozdukha na tekstil'nykh predpriyatiyakh. – М.: Legkaya industriya, 1974.

5. Uchastkin P.V. Ventilyatsiya, konditsionirovanie vozdukha i otoplenie na predpriyatiyakh legkoy promyshlennosti. – М.: Legkaya industriya, 1980.

6. Rumyantsev E.V., Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Oparina L.A., Chistyakova Yu.A., Kotlov V.G. Ekologo-ekonomicheskie efekty energosberezheniya v proizvodstvennykh zdaniyakh tekstil'noy i legkoy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019. № 2. S. 149...152.

7. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 4 iyunya 2008 g. № 889 "O nekotorykh merakh po povysheniyu energeticheskoy i ekologicheskoy effektivnosti rossiyskoy ekonomiki" // SPS Konsul'tant Plyus.

8. Federal'nyy zakon ot 23.11.2009 g. № 261-FZ (red. ot 13.07.2015) "Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti, i o vnesenii izmeneniy v otдел'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii" // SPS Konsul'tant Plyus.

9. Bodrov V.I., Mikhaylova L.Yu., Smykov A.A. Temperaturnyy rezhim naruzhnykh ograzhdeniy pomeshcheniy s sistemami otopleniya na baze gazovykh infrakrasnykh izluchateley // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. – 2015. № 2 (34). S. 58...64.

10. Bodrov V.I., Bodrova V.F., Smykov A.A. Issledovanie teplovogo rezhima naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy v promyshlennykh pomeshcheniyakh s sistemami otopleniya na baze infrakrasnykh izluchateley // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. – 2018. № 2 (46). S. 23...36.

11. Bodrov V.I., Bodrov M.V., Smykov A.A. Issledovanie sistem luchistogo otopleniya na baze nizkotemperaturnykh infrakrasnykh izluchateley // Pri-volzhskiy nauchnyy zhurnal. – 2019. № 3 (51). S.52...57.

12. Bodrov V.I., Bodrov M.V., Smykov A.A. Issledovanie teplotekhnicheskikh kharakteristik nizkotemperaturnykh infrakrasnykh izluchateley // San-tehnika. Otoplenie. Konditsionirovanie. – 2019. № 10 (214). S. 32...36.

13. Jia H., Pang X., Haves P. Experimentally-determined characteristics of radiant systems for of-fice buildings // Applied Energy. – 2018. (221). S. 41...54.

14. Bojić M., Cvetković D., Marjanović V., Blagojević M., Djordjević Z. Performances of low temperature radiant heating systems // Energy and Buildings. – 2013. (61). P. 233...238.

15. Jung N., Paiho S., Shemeikka J., Lahdelma R., Airaksinen M. Energy performance analysis of an of-fice building in three climate zones // Energy and Buildings. – 2018. (158). P. 1023...1035.

16. Imanari T., Omori T., Bogaki K. Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. Comparison with the conventional all-air system // Energy and Buildings. – № 2(30), 1999. P.167...175.

17. Kavga A., Karanastasi E., Konstas I., Panidis T. Performance of an infrared heating system in a production greenhouse // IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). – № 18 PART 1(46), 2013. P. 235...240.

18. SanPiN 2.2.4.548-96. Gigienicheskie trebovaniya k mikroklimatu proizvodstvennykh pomeshcheniy. – М.: 2001.

19. SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy (Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 23-02-2003). – М., 2012.

20. Kurilenko N.I., Zverev D.M., Idrisov A.Z. Comparative analysis of methods of calculating the systems for radiation heating // Gazovaya Promyshlennost. – №5, 2001. P. 58...60.

21. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Maksimov V.I., Mamontov G.Y., Nagornova T.A. Heat transfer under heating of a local region of a large production area by gas infrared radiators // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – № 3(86), 2013. P. 519...524.

22. Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhaylova L.Y. Temperature patterns in the gas infrared radiator heating area // EPJ Web of Conferences. – 2015. (82).

23. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Mamontov G.Y., Mikhailova L.Y. Experimental determination of the temperature in a small neighborhood of the gas infrared sources // EPJ Web of Conferences. – 2015. (82).

24. Maksimov V.I., Nagornova T.A., Kurilenko N.I. Verification of Conjugate Heat Transfer Models in a Closed Volume with Radiative Heat Source // MATEC Web of Conferences. – 2016. (72).

25. Kuznetsov G. V., Kurilenko N.I., Nee A.E. Mathematical modelling of conjugate heat transfer and fluid flow inside a domain with a radiant heating system // International Journal of Thermal Sciences. – 2018. (131). P. 27...39.

26. Samarin O.D. Voprosy ekonomiki v obespechenii mikroklimata zdaniy. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: ASV, 2015.

27. TSN 31-301-96. Stroitel'naya klimatologiya dlya punktov Nizhegorodskoy oblasti. – N.Novgorod, 1997.

Рекомендована кафедрой отопления и вентиляции. Поступила 02.08.20.

---