

Экспериментальное исследование теплового режима легкой ограждающей конструкции в натуральных условиях

*К.т.н., старший преподаватель Д.В. Петросова,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»;
ассистент Н.М. Кузьменко,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»;
старший преподаватель Д.В. Петросов,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»*

Аннотация. Эффективность потребления тепла зданиями зависит от многих факторов. В первую очередь к ним относятся объемно-планировочные и строительные решения, то есть уровень теплозащиты отдельных наружных ограждений и здания в целом. Для повышения тепловой защиты зданий в настоящее время применяют многослойные ограждающие конструкции. В связи с этим вопрос определения теплофизических свойств, в частности приведенного сопротивления теплопередаче, является актуальным.

В статье представлены результаты натурального эксперимента, целью которого является оценка эффективности использования легкой стальной ограждающей конструкции. В ходе исследования определялись тепловой поток через ограждающую конструкцию, влияние термопрофилей на температурный режим помещения, измерение уровня тепловой защиты. Объектом натурных исследований являлось многоквартирное жилое здание в Ленинградской области.

По результатам исследований получено приведенное сопротивление теплопередаче и коэффициент теплотехнической однородности легкой ограждающей конструкции.

Ключевые слова: ограждающие конструкции; тепловой поток; приведенное сопротивление теплопередаче

Эффективность потребления тепла зданием зависит, в частности, от уровня теплозащиты его наружных ограждений. Этим обосновывается актуальность задачи определения теплофизических свойств ограждающих конструкций, в частности, приведенного сопротивления теплопередаче [1, 2].

Комплекс вопросов по теплофизическим свойствам конструкций опирается на исследования отечественных ученых разных поколений: строительных физиков О.Е. Власова [3], В.Н. Богословского [4], Б.Ф. Васильева [5]. Научно-технические основы повышения тепловой защиты легкобетонных ограждающих конструкций зданий были разработаны В.Р. Хлевчуком [6, 7]. Исследования влияния фильтрации воздуха в ограждающих конструкциях на теплозащитные свойства проведены В.В. Гагариным, В.В. Козловым, А.В. Садчиковым, М.Р. Петриченко, [8–12]. Работа С.С. Солощенко посвящена влиянию вентилируемого зазора на теплофизические характеристики систем наружного утепления фасадов зданий с применением тонкослойной штукатурки [13]. В работе С.В. Корниенко приводится комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания [14]. Исследования энергосберегающих решений зарубежных авторов приведены в работах [15–18].

Обзор литературы показал, что натурных исследований приведенного сопротивления легкой ограждающей конструкции нет.

Основной целью проведения эксперимента является оценка энергетической эффективности использования в качестве наружной стены легкой стальной ограждающей конструкции из тонкостенного холодногнутого оцинкованного профиля (так называемого термопрофиля [19–29]). Определялись тепловой поток через ограждающую конструкцию и влияние термопрофилей на приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

Петросова Д.В., Кузьменко Н.М., Петросов Д.В. Экспериментальное исследование теплового режима легкой ограждающей конструкции в натуральных условиях

Объект исследования

Объектом натуральных исследований являлось одноквартирное жилое здание в поселке Коробицино, Ленинградская область, спроектированное и построенное строительной организацией ООО «Авекс Плюс». Здание двухэтажное с чердаком (рис. 1).



Рисунок 1. Жилое здание, поселок Коробицино, Ленинградская область

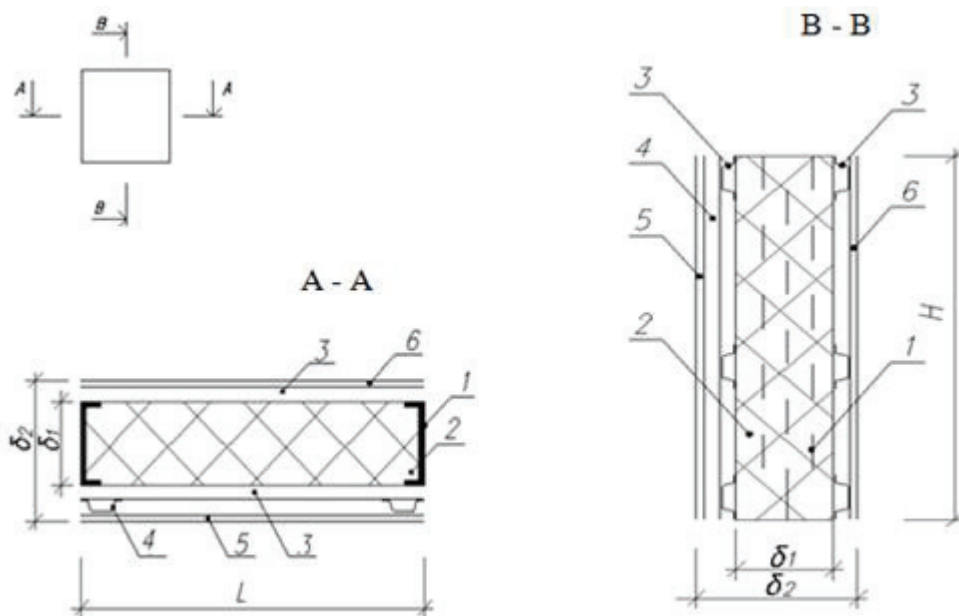


Рисунок 2. Легкая ограждающая конструкция: 1 – термопрофиль; 2 – утеплитель; 3 – горизонтальная обрешетка; 4 – вертикальная обрешетка; 5 – вагонка; 6 – два листа ГКЛ (2x12,5 мм); 7 – пароизоляционный слой; 8 – ветрогидрозащитная паропроницаемая мембрана; L – длина, мм; H – высота, мм; δ_1 – толщина утеплителя, мм; δ_2 – толщина конструкции, мм

Наружные стены (рис. 2) представляют собой каркас из термопрофилей сечения П и С-с (рис. 3). К нему посредством саморезов крепится горизонтальная обрешетка 3. С наружной стороны к обрешетке крепится вертикальная обрешетка 4, к ней – вагонка 5. С внутренней стороны к обрешетке 3 саморезами крепятся гипсокартонные листы 6. Внутри термопрофилей укладывается утеплитель 2. Термопрофили расположены с шагом 600 мм. Толщина утеплителя $\delta_1 = 200$ мм. Высота стенки термопрофиля обусловлена конструктивными расчетами. Она совпадает с толщиной утеплителя, $\delta_1 = 200$ мм. В качестве утеплителя применен эффективный теплоизоляционный материал с теплопроводностью $\lambda = 0,045$ Вт/(м·°С). На внутренней

Петросова Д.В., Кузьменко Н.М., Петросов Д.В. Экспериментальное исследование теплового режима легкой ограждающей конструкции в натуральных условиях

поверхности утеплителя крепится пароизоляционный слой 7, на наружной – ветрогидрозащитная паропроницаемая мембрана 8. Общая толщина ограждающей конструкции составляет $\delta_2 = 300$ мм. Проектное сопротивление теплопередаче наружных стен $R_0 = 4,6$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт. В качестве оконного заполнения применен однокамерный стеклопакет. Полы здания утепленные. Вентиляция естественная. Система отопления – горизонтальная двухтрубная от отопительного котла.

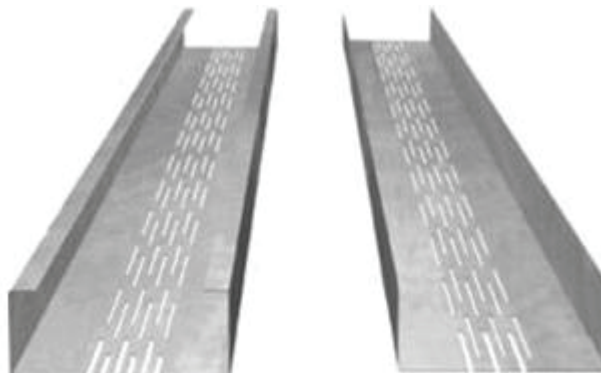


Рисунок 3. Термопрофили сечением П и Сс

Методика проведения эксперимента

Натурное обследование и обработка результатов проведены по «Комплексной методике контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений», утвержденной Госстроем РФ и рекомендованной к использованию при проведении контроля качества тепловой изоляции ОК в натуральных условиях (письмо Госстроя России №9-14/932 от 23.12.2002 г.), ГОСТ 26629-85 «Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций», ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций», ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Для проведения натуральных экспериментов применены следующие контрольно-измерительные приборы и оборудование: тепловизор ThermoCAM P60, измеритель-регистратор ИТП-МГ4.03-10 «ПОТОК», термогигрометр CENTER 314, рулетка измерительная металлическая STAYER.

С помощью тепловизора определены термически однородные зоны и места расположения теплопроводных включений. Для измерения плотности теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию, на внутренней поверхности конструкции установили преобразователи теплового потока в каждой характерной зоне (рис. 4). Измерение температуры поверхности проводилось с помощью термощупа, снабженного термопарой, и вторичного прибора – измерителя температуры. Температура и плотность теплового потока измерялись после достижения в ограждающей конструкции стационарного режима, наступление которого определяли по контрольным измерениям температур на поверхности и внутри конструкции. Измерения температур проводились многократно при небольших колебаниях температуры наружного воздуха от 7 °C до 13 °C . Процесс испытаний автоматизирован: специальный программный продукт производил сбор результатов измерений теплового потока и температуры и формирует протокол измерений.

Испытания проводились в ноябре месяце, показания снимались в течение пяти календарных дней. В период проведения исследования температура воздуха в помещениях коттеджа в среднем составляла $+24\text{ °C}$, температура наружного воздуха составляла от -7 до -13 °C .



Рисунок 4. Расположение датчиков температуры на внутренней поверхности стены

Результаты испытаний

Термограммы, полученные в ходе испытаний, представлены на рисунке 5. Установлено, что дефектов нет. Показано, что температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции здания составила $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура в зоне термопрофилей составила $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, установлено, что температура на внутренней поверхности легкой ограждающей конструкции превышает температуру точки росы, равную $+10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На основе анализа динамики изменения параметров, измеряемых контактными датчиками, выбран расчетный период и определен тепловой поток, проходящий через базовые участки ограждающих конструкций (таблица 1).

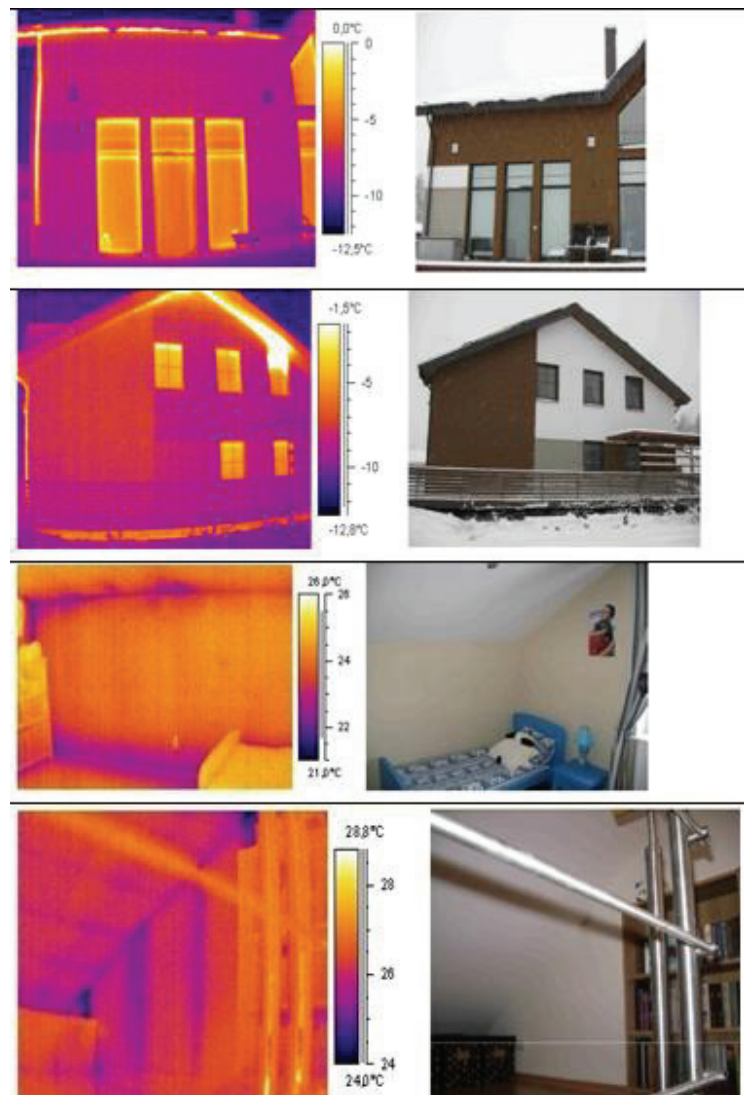


Рисунок 5. Термограммы

Таблица 1. Тепловой поток, проходящий через ограждающую конструкцию

№ п/п	День испытаний	$t_n, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$t_b, ^\circ\text{C}$	тепловой поток, Вт/м ²	
					q_1	q_2
Комната №1						
1	1-й день	-7	98	23,5	6,05	6,55
2	2-й день	-9	96	23	6,54	7,55
3	3-й день	-11	95	23,5	7,09	8,39
4	4-й день	-13	96	23	7,42	8,65
5	5-й день	-12	97	23,5	7,32	8,44
Комната №2						
6	1-й день	-7	98	23	6,07	6,56
7	2-й день	-9	96	23,5	6,54	7,55
8	3-й день	-11	95	23	7,09	8,39
9	4-й день	-13	96	23	7,42	8,65
10	5-й день	-12	97	23	7,32	8,44

Примечание: q_1 – тепловой поток в основной части легкой ограждающей конструкции, Вт/м²; q_2 – тепловой поток в зоне термопрофиля легкой ограждающей конструкции, Вт/м²; t_n – температура наружного воздуха, °C; t_b – температура воздуха внутри помещения, °C; φ – относительная влажность воздуха внутри помещения, %.

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0^{np} ограждающей конструкции определяем по формуле:

$$R_0^{np} = \frac{F}{\sum \frac{F_i}{R_{oi}}}, \quad (1)$$

где F – площадь испытываемой ограждающей конструкции, м;

F_i – площадь характерной изотермической зоны, м;

R_{oi} – сопротивление теплопередаче характерной зоны, (м²·°C)/Вт.

Сопротивление теплопередаче R_{oi} для характерной зоны ограждающей конструкции определяем по формуле:

$$R_{oi} = \frac{t_{ei} - t_{ni}}{t_{ei} - \tau_{ei}} R_{gi}, \quad (2)$$

где

$$R_{gi} = \frac{1}{\alpha_{ei}} = \frac{1}{\alpha_{ki} + \alpha_{li}}, \quad (3)$$

где α_{ki}, α_{li} – коэффициенты соответственно конвективного и лучистого теплообмена внутренней поверхности характерной зоны, Вт/(м²·°C), определяемые по чертежам 1 и 2 приложения 7 ГОСТ 26254-84.

Получаем:

1) основная зона:

$$\alpha_e = 6,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$R_{o1} = 4,98 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}/\text{Вт};$$

2) зона термопрофиля:

$$\alpha_e = 7,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$R_{o2} = 2,39 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}/\text{Вт}.$$

Петросова Д.В., Кузьменко Н.М., Петросов Д.В. Экспериментальное исследование теплового режима легкой ограждающей конструкции в натуральных условиях

Тогда приведенное сопротивление теплопередаче легкой ограждающей конструкции будет равно:

$$R_o^{np} = \frac{11,34}{\frac{1,42}{2,39} + \frac{9,92}{4,98}} = 4,39 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт} \cdot$$

Суммарная абсолютная погрешность результата испытания термического сопротивления теплопередаче легкой ограждающей конструкции вычислена в соответствии с требованиями приложения 3 ГОСТ 26254-84 и равна 0,45 ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт.

Коэффициент теплотехнической однородности легкой ограждающей конструкции $r = 0,88$.

Таким образом, в работе получены следующие результаты.

1. Показано, что температура на внутренней поверхности легкой ограждающей конструкции здания составила +23 °С, температура в зоне термопрофилей составила +22 °С. Таким образом, установлено, что температура на внутренней поверхности легкой ограждающей конструкции превышает температуру точки росы равной +10,7 °С.
2. Установлено, что приведенное термическое сопротивление теплопередаче легкой ограждающей конструкции (толщиной утеплителя 200 мм и $\lambda=0,045$ Вт/(м·°С), с термопрофилем высотой стенки 200 мм, толщиной 1,5 мм и шагом расстановки 600 мм) составляет $4,39 \pm 0,45$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт, коэффициент теплотехнической неоднородности конструкции 0,88.

Показано, что легкая ограждающая конструкция имеет высокое значение приведенного сопротивления теплопередаче и является энергетически эффективной. Легкая ограждающая конструкция может быть использована в малоэтажном строительстве, а также при возведении общественных зданий каркасного типа.

Литература

1. Крайнов Д.В., Сафин И.Ш., Любимцев А.С. Расчет дополнительных теплотерь через теплопроводные включения ограждающих конструкций (на примере узла оконного откоса) // Инженерно-строительный журнал. 2010. №6(16). С. 17–22.
2. Малявина Е.Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий // АВОК. 2009. №1. С. 4–10.
3. Власов О.Е. Основы строительной теплотехники. ВИА РККА, 1938. 94 с.
4. Богословский В.Н. Тепловой режим здания. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
5. Васильев Б.Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима зданий. М.: Стройиздат, 1957. 347 с.
6. Хлевчук В.Р., Черников С.Г. Повышение теплозащитных качеств панелей из легкого бетона // Труды НИИСФ. М.: НИИСФ, 1984. С. 10–15.
7. Хлевчук В.Р. Научно-технические проблемы повышения теплозащитны легкобетонных ограждений зданий: Автореферат дис. докт. техн.наук: 05.23.10; 05.23.03 / НИИСФ Госстроя СССР. М., 1989. 88 с.
8. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Садчиков В.В., Мехнецова И.А. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях // АВОК. 2005. №8. С. 60–70.
9. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Крышов С.И., Пономарев О.И. Теплозащита наружных стен зданий с облицовкой из кирпичной кладки // АВОК. 2009. №5. С. 46–60.
10. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Садчиков А.В. Учет продольной фильтрации воздуха при оценке теплозащиты стены с вентилируемым фасадом // Промышленное и гражданское строительство. 2005. №6. С. 42–45.
11. Петриченко М.Р., Петросова Д.В., Петроченко М.В. Фильтрационный перенос воздухом консервативной примеси (температуры и теплоты) сквозь стену // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. №4(159). С. 221–226.

Петросова Д.В., Кузьменко Н.М., Петросов Д.В. Экспериментальное исследование теплового режима легкой ограждающей конструкции в натуральных условиях

12. Садчиков А.В. Влияние продольной фильтрации воздуха в утеплителе на теплозащитные свойства стен с навесными вентилируемыми фасадами: Автореферат дисс. канд. техн. наук. Москва, 2007. 24 с.
13. Солощенко С.С. Влияние вентилируемого зазора на теплофизические характеристики систем наружного утепления фасадов зданий с применением тонкослойной штукатурки // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2(20). С. 39–41.
14. Корниенко С.В. Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания // Инженерно-строительный журнал. 2012. №7(33). С. 43–49.
15. Guo W., Qiao X., Huang Y., Fang M., Han X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone // Energy and Buildings. 2012. Vol. 50. Pp. 196–203.
16. Xinhong Zhao, Congyu Ma, Pingdao Gu. Energy Saving Methods and Results Analysis in the Hotel // Energy Procedia. 2012. Vol. 14. Pp. 1523–1527.
17. Ehringer H., Hoyaux G., Zegers P. Energy Conservation in Buildings Heating, Ventilation and Insulation. Springer, 1983. 512 p.
18. Govan F.A. Thermal Insulation, Materials, and Systems for Energy Conservation in the '80s. Astm Intl, 1983. 890 p.
19. Жмарин Е.Н. Технология будущего - строительство облегченных зданий и сооружений с применением термопрофилей и лёгких балок // Стройпрофиль. 2004. №5(35). С. 83.
20. Жмарин Е.Н. Международная ассоциация легкого стального строительства // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. №2. С. 27–30.
21. Кузьменко Д.В. Ограждающая конструкция на базе легких стальных конструкций // Строительные материалы. 2009. №4. С. 2–4.
22. Кузьменко Д.В. Ограждающая термопанель с каркасом из термопрофилей // Жилищное строительство. 2009. №4. С. 2–4.
23. Кузьменко Д.В., Ватин Н.И. Ограждающие конструкции «нулевой» толщины для каркасных зданий // Инженерно-строительный журнал. 2008. №1. С. 13–21.
24. Кузьменко Д.В., Ватин Н.И. Новый тип ограждающий конструкции – термопанель // Стройпрофиль. 2008. №6(68). С. 56.
25. Ватин Н.И., Попова Е.Н. Термопрофиль в легких стальных строительных конструкциях. [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург, 2006. URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/1307.pdf/view> (дата обращения: 16.12.2013).
26. Рыбаков В.А., Гамаюнова О.С. Влияние перфорации стенки на несущую способность термопрофилей // Стройпрофиль. 2008. №1(63). С. 128–130.
27. Лалин В. В., Рыбаков В.А. Конечные элементы для расчета ограждающих конструкций из тонкостенных профилей // Инженерно-строительный журнал. 2011. №8(26). С. 69–80.
28. Milan Veljkovic, Bernt Johansson. Light steel framing for residential buildings // Thin-Walled Structures. 2006. Vol. 44. Issue 12. Pp. 1272–1279.
29. Davies J.M. Light gauge steel cassette wall construction – theory and practice // Journal of Constructional Steel Research. 2006. Vol. 62. Issue 11. Pp. 1077–1086.

*Дарья Владимировна Петросова, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(905)211-44-17; эл. почта: d_kuzmenko@list.ru*

*Наталья Михайловна Кузьменко, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(960)276-48-37; эл. почта: d_kuzmenko@list.ru*

*Дмитрий Вадимович Петросов, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(921)750-08-70; эл. почта: dpetrosov@mail.ru*

© Петросова Д.В., Кузьменко Н.М., Петросов Д.В., 2013

Петросова Д.В., Кузьменко Н.М., Петросов Д.В. Экспериментальное исследование теплового режима легкой ограждающей конструкции в натуральных условиях

doi: 10.5862/MCE.43.5

A field experimental investigation of the thermal regime of lightweight building envelope construction

D.V. Petrosova

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+7(905)211-44-17; e-mail: d_kuzmenko@list.ru

N.M. Kuzmenko

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+7(960)276-48-37; e-mail: d_kuzmenko@list.ru

D.V. Petrosov

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+7(921)750-08-70; e-mail: dpetrosov@mail.ru

Key words

building envelope; heat flow; reduced resistance to heat transfer

Abstract

The efficiency of heat consumption of buildings depends on many factors. Primarily they are space-planning and construction decisions, that is the level of thermal protection of certain claddings and buildings on the whole. In order to improve the thermal protection of buildings currently the multilayer building envelope is used in construction. In this connection, the issue of determining the thermophysical properties, in particular, reduced resistance to heat transfer is relevant.

The article presents the results of a field experiment, which object was to estimate the efficiency of the use of lightweight steel frame structure. In the course of the research there were determined the heat flow through the frame structure, the impact of thermoprofiles on temperature conditions in the room, the level of thermal protection. The object of the field observation was one-family dwelling in the Leningrad Region.

As a result of researches the reduced resistance to heat transfer and the thermal homogeneity value of lightweight building envelope construction were received.

References

1. Kraynov D.V., Safin I.Sh., Lyubimtsev A.S. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No.6(16). Pp. 17–22. (rus)
2. Malyavina E.G. *AVOK*. 2009. No.1. Pp. 4–10. (rus)
3. Vlasov O.E. *Osnovy stroitelnoy teplotekhniki* [Fundamentals of heat engineering]. VIA RKKA, 1938. 94 p. (rus)
4. Bogoslovskiy V.N. *Teplovoy rezhim zdaniya* [Thermal conditions of the building]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 248 p. (rus)
5. Vasilyev B.F. *Naturnyye issledovaniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima zdaniy* [Field observation of the temperature-humidity conditions of the building]. Moscow: Stroyizdat, 1957. 347 p. (rus)
6. Khlevchuk V.R., Chernikov S.G. *Trudy NIISF* [Proceedings of Research Institute of Building Physics, Russian Academy Architecture and Building Sciences]. Moscow: NIISF, 1984. Pp. 10–15. (rus)
7. Khlevchuk V.R. *Nauchno-tekhnicheskiye problemy povysheniya teplozashchitny legkobetonnnykh ograzhdeniy zdaniy* [Scientific and technical problems of thermal protection growth in light concrete building enclosure]. NIISF Gosstroya SSSR. Moscow, 1989. 88 p. (rus)
8. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Sadchikov V.V., Mekhnetsova I.A. *AVOK*. 2005. No.8. Pp. 60–70. (rus)
9. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Kryshov S.I., Ponomarev O.I. *AVOK*. 2009. No.5. Pp. 46–60. (rus)
10. Gagarin V.G. *Industrial and Civil Engineering*. 2005. No.6. Pp. 42–45. (rus)
11. Petrichenko M.R., Petrosova D.V., Petrochenko M.V. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2012. No.4(159). Pp. 221–226. (rus)
12. Sadchikov A.V. *Vliyaniye prodolnoy filtratsii vozdukha v uteplitele na teplozashchitnyye svoystva sten s navesnymi ventiliruyemyimi fasadami* [The influence of the longitudinal air filtration in the insulation on the

Petrosova D.V., Kuzmenko N.M., Petrosov D.V. A field experimental investigation of the thermal regime of lightweight building envelope construction

- heat-shielding properties of the walls with hinged ventilated facades]. Abstract of PhD thesis. Moscow, 2007. 24 p. (rus)
13. Soloshchenko S.S. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. №2(20). Pp. 39–41. (rus)
 14. Korniyenko S.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.7(33). Pp. 43–49. (rus)
 15. Guo W., Qiao X., Huang Y., Fang M., Han X. Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 50. Pp. 196–203.
 16. Xinhong Zhaoa, Congyu Mab, Pingdao Gu. Energy saving methods and results analysis in the hotel. *Energy Procedia*. 2012. Vol. 14. Pp. 1523–1527.
 17. Ehringer H., Hoyaux G., Zegers P. Energy conservation in buildings heating. *Ventilation and Insulation*. Springer, 1983. 512 p.
 18. Govan F.A. Thermal insulation, materials and systems for energy conservation in the '80s. *Astm Intl*. 1983. 890 p.
 19. Zhmarin Ye.N. *Stroyprofil*. 2004. No.5(35). P. 83. (rus)
 20. Zhmarin Ye.N. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2012. No.2. Pp. 27–30. (rus)
 21. Kuzmenko D.V. *Construction materials*. 2009. No.4. Pp. 2–4. (rus)
 22. Kuzmenko D.V. *Housing Construction*. 2009. No.4. Pp. 2–4. (rus)
 23. Kuzmenko D.V., Vatin N.I. *Magazine of Civil Engineering*. 2008. No.1. Pp. 13–21. (rus)
 24. Kuzmenko D.V., Vatin N.I. *Stroyprofil*. 2008. No.6(68). P. 56. (rus)
 25. Vatin N.I., Popova E.N. *Termoprofil v legkikh stalnykh stroitelnykh konstruktsiyakh* [Thermal profile in light steel building construction]. [Online resource]. Saint-Petersburg, 2006. URL: <http://elilib.spbstu.ru/dl/1307.pdf/view> (accessed: December 16, 2013). (rus)
 26. Rybakov V.A., Gamayunova O.S. *Stroyprofil*. 2008. 1(63). Pp. 128–130. (rus)
 27. Lalin V.V., Rybakov V.A. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.8(26). Pp. 69–80. (rus)
 28. Milan Veljkovic, Bernt Johansson. Light steel framing for residential buildings. *Thin-Walled Structures*. 2006. Vol. 44. Issue 12. Pp. 1272–1279.
 29. Davies J.M. Light gauge steel cassette wall construction – theory and practice. *Journal of Constructional Steel Research*. 2006. Vol. 62. Issue 11. Pp. 1077–1086.

Full text of this article in English: pp. 31–37