УДК 699.8

# МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УРАВНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО ВЫСОТЕ ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ПРОСЛОЙКИ НФС

***В.Г. Гагарин, Н.Ю. Плющенко, А.Р. Косарев***
*ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», г. Москва, Россия*

## АННОТАЦИЯ

*В связи с широким применением в строительстве навесных фасадных систем (НФС) с вентилируемой воздушной прослойкой актуальными являются исследования эффективности НФС и области их применения. Проведены натурные экспериментальные исследования изменения температуры по высоте фасада в летний период. Для обработки экспериментальных данных использовано известное дифференциальное уравнение распределения температуры по высоте прослойки. Для упрощения обработки экспериментальных данных в данном дифференциальном уравнении выполнена замена переменной. Уравнение содержит два параметра, которые зависят от температуры наружного воздуха и конструктивных характеристик воздушной прослойки НФС. Эти же параметры входят и в решение данного уравнения. Уравнение представлено в конечных разностях, и при помощи него выполнено определение параметров уравнения по полученным экспериментальным данным. Представлено решение дифференциального уравнения с найденными параметрами. Расчеты по полученному уравнению сравнены с экспериментальными данными. Сравнительный анализ показал допустимую погрешность между расчетными и экспериментальными данными. Разработанная методика определения параметров уравнения позволяет определять численные значения характеристик воздушной прослойки, которые, в свою очередь, позволят повысить точность расчетов определения эксплуатационных показателей НФС, описывающих их тепловую защиту.*

***КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:*** *температура, воздушно-тепловой режим, вентилируемая прослойка, навесная фасадная система (НФС), тепловая защита здания.*

## ВВЕДЕНИЕ

Конструкции с навесными фасадными системами (НФС) хорошо известны в России [1, 2, 3, 4, 5]. Исследования воздушно-теплового режима вентилируемой прослойки НФС являются актуальными в связи с необходимостью оценки эффективности применения НФС в современном строительстве. В [1, 6] на основании уравнения баланса теплоты для элементарного слоя воздуха в прослойке НФС получено дифференциальное уравнение для температуры воздуха в прослойке, $t_{пр}(x)$, в функции от высоты прослойки $x$:

$$x_0 \frac{dt_{пр}(x)}{dx} + t_{пр}(x) = t_0, \qquad (1)$$

с начальным условием $t_{пр}(0) = t_н$; $x_0$, $t_0$ – параметры уравнения (1), определяемые по характеристикам НФС; $t_н$ – температура наружного воздуха, °С.

Решение уравнения (1) в дальнейшем было модернизировано и упрощено [6]. В [7] предложено решение этого уравнения совместно с уравнением скорости движения воздуха в прослойке [8], которое позволяет рассчитать тепловую защиту ограждающей конструкции с НФС в теплый период года с учетом влияния солнечной радиации, воздушной прослойки и теплопроводных включений – кронштейнов. Однако параметры уравнения (1), необходимые для такого расчета можно определить по параметрам воздушной прослойки с использованием экспериментальных данных по местным сопротивлениям или получить непосредственно из натурного экспериментального исследования. Известные многочисленные экспериментальные и теоретические работы [9 – 20] не ставили целью определение параметров теоретически полученных уравнений. В настоящей статье предложен метод определения параметров уравнения (1) $x_0$, $t_0$ по результатам натурного эксперимента.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

*Выполнение измерений.* В процессе проведения натурных экспериментальных исследований проведены измерения температуры воздуха в прослойке по ее высоте. Предложена методика обработки экспериментальных

данных, позволяющая определить параметры $x_0$, $t_0$. На примере полученных экспериментальных данных по предложенной методике получены значения параметров уравнения (1).

Объектом исследования стала административно-бытовая часть корпуса учебно-научно-производственной лаборатории аэродинамических и аэроакустических испытаний строительных конструкций (УНПЛ ААИСК) НИУ МГСУ по адресу: г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, корп. 19 (рис. 1). Высота административно-бытовой части корпуса от уровня земли составляет 10,1 м.

*Рисунок 1 – Стена административно-бытовой части корпуса УНПЛ ААИСК с утепленным вентилируемым фасадом системы «АК-580С»*
*Illustration 1 – Wall of the administratively common part of the construction UNPL AAICK with the heated and ventilated system « AK-580C»*

Наружные стены административно-бытовой части здания представляют собой кирпичную кладку на цементно-песчаном растворе, на которой закреплен слой утеплителя из минераловатной плиты «Baswool стандарт» толщиной 100 мм и облицовка из стальных кассет на относе с толщиной воздушной прослойки 40 мм, система НФС: АК-580С. Размер кассеты АК-580С составляет – 580х590 мм с толщиной стального слоя 0,9 мм (панели из оцинкованной стали).

Измерение температуры воздуха в вентилируемой прослойке НФС проводилось по высоте стены, ориентированной на ЮВ, с использованием контрольно-измерительных приборов температуры воздуха (мини-логгеров данных testo174H), предварительно установленных на утеплитель по схеме, представленной на рисунке 2.

*Результаты измерений.* Было проведено измерение температуры воздуха по высоте вентилируемой прослойки НФС. Средняя температура наружного воздуха в период измерения составляла 22,15°С, ветер ЗСЗ 1,5 м/с. Температура воздуха измерялась по высоте вентилируемой прослойки НФС (см. рис. 2) каждые пять минут 28.06.17 в период с 16:20 по 17:15. Такой период проведения измерений был выбран исходя из того, что температура наружного воздуха в течение него изменялась в диапазоне, не превышающем 0,1 °С.

Результаты измерений представлены в таблице 1.

По результатам измерений температуры на каждой высоте НФС найдены средние значения температуры.

*Методика определения параметров уравнения (1) по результатам экспериментальных измерений.* Перед изложением методики определения параметров целесообразно усовершенствовать предложенные в [1, 2] решения уравнения (1). Для этого вводится замена искомой функции

$$\theta_{\text{пр}}(x) = t_{\text{пр}}(x) - t_{\text{н}}. \qquad (2)$$

Рассчитанные по этой формуле значения $\theta_{\text{пр}}(x_i)$, соответствующие экспериментальным значениям $t_{\text{пр}}(x_i)$, изображены точками на рисунке 4.

Уравнение (1) записывается в виде:

$$x_0 \frac{d\theta_{\text{пр}}(x)}{dx} + \theta_{\text{пр}}(x) = \theta_0, \qquad (3)$$

с начальным условием $\theta_{\text{пр}}(0) = 0$.

При этом условии решение уравнения (3) имеет вид:

$$\theta_{\text{пр}}(x) = \theta_0 \cdot (1 - e^{-\frac{x}{x_0}}). \qquad (4)$$

В результате проведенных экспериментальных измерений формулируется следующая задача. По значениям $\theta_{\text{пр}}(x_i)$, рассчитанным по экспериментальным значениям

температуры по (2) в точках по высоте воздушной прослойки $x_i$, $i$ = 1, … $n$, требуется определить параметры уравнения (3) $x_0$, $\theta_0$. Такая задача называется инверсной.

Определение параметров уравнения (3) по результатам экспериментальных данных основано на решении этого уравнения при его представлении в конечных разностях

$$\frac{\theta_{\text{пр}}(x_{i+1})-\theta_{\text{пр}}(x_i)}{x_{i+1}-x_i}+\frac{1}{x_0}\theta_{\text{пр}}(x_i)=\frac{\theta_0}{x_0}. \quad (5)$$

Для определения параметров экспериментальные точки наносятся на плоскость в координатах $\frac{d\theta_{\text{пр}}(x)}{dx}$, $\theta_{\text{пр}}(x)$. В соответствии с уравнением (3) эти точки должны составить прямую, поэтому через данные точки проводится прямая, которая пересекает ось O – $\frac{d\theta_{\text{пр}}(x)}{dx}$ в точке с координатой, равной $\frac{\theta_0}{x_0}$. Наклон прямой при этом равен $\frac{1}{x_0}$. По этим значениям очевидным способом определяют параметры $x_0$, $\theta_0$. Коэффициенты уравнения прямой на рис. 3 определяются методом наименьших квадратов.

*Обработка результатов измерений.* По изложенной методике проведена обработка полученных экспериментальных данных (табл. 2). Соответствующие экспериментальным данным точки, нанесенные на плоскость, и прямая, проведенная через них, представлены на рисунке 3. Характеристики этой прямой позволяют получить параметры уравнения (1).

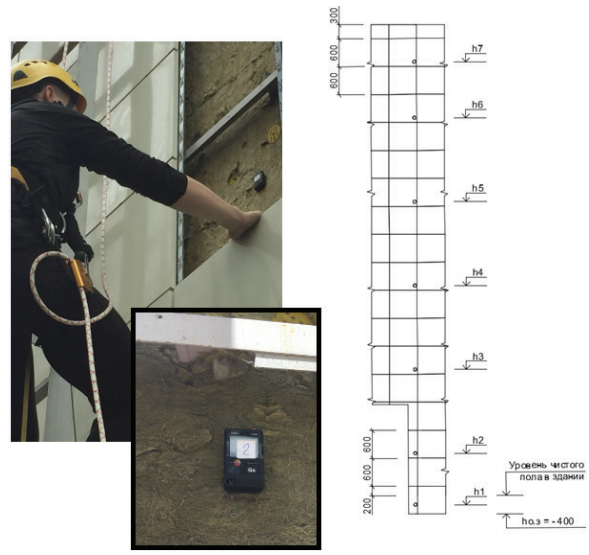


*Рисунок 2 – Отметки, на которых измерялась температура воздуха в вентилируемой прослойке НФС с использованием мини-логгеров данных testo174H*
*Illustration 2 – Altitudes on which the air temperature is taken with the usage of the mini-longer 174H testo*

Таблица 1
ИЗМЕРЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО ВЫСОТЕ ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ПРОСЛОЙКИ НФС
Table 1
CALCULATED AIR TEMPERATURE ON THE HEIGHT VENTILATED LAYER

| № п/п | Высота отметки измерения h, м | Измеренная в течение часа через 5 мин температура воздуха в вентилируемой прослойке НФС, °С | | | | | | | | | | | | Среднее значение температуры воздуха в вентилируемой прослойке НФС, °С |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,2 | 22 | 22 | 22 | 22,2 | 22,2 | 22,2 | 22,2 | 22,1 | 22,1 | 22,2 | 22,3 | 22,3 | 22,15 |
| 2 | 1,3 | 22,2 | 22,1 | 22,2 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,4 | 22,5 | 22,5 | 22,5 | 22,6 | 22,42 |
| 3 | 3,1 | 22,6 | 22,5 | 22,6 | 22,7 | 22,7 | 22,8 | 22,8 | 22,7 | 22,7 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,71 |
| 4 | 4,9 | 22,7 | 22,7 | 22,7 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,80 |
| 5 | 6,7 | 22,8 | 22,8 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,8 | 22,8 | 22,8 | 22,9 | 22,9 | 22,86 |
| 6 | 8,5 | 22,8 | 22,8 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,8 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,88 |
| 7 | 9,7 | 22,8 | 22,8 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 22,88 |

Таблица 2

ЗАВИСИМОСТИ $d\theta_{пр}(x)/dx$ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ПРОСЛОЙКЕ ПО ВЫСОТЕ ФАСАДА, Θ, °С

Table 2

DEPENDENCE OF THE AIR TEMPERATURE IN THE HEIGHT VENTILATED LAYER, Θ, °С

| № п/п, *i* | *x*, м | Средние значения температуры воздуха в вентилируемой прослойке НФС, *t*, °С | Значения функции, рассчитанной по (2) θ, °С | Конечно-разностное представление $\frac{d\theta_{пр}(x)}{dx}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,2 | 22,15 | 0 | 0,245 |
| 2 | 1,3 | 22,42 | 0,27 | 0,161 |
| 3 | 3,1 | 22,71 | 0,56 | 0,05 |
| 4 | 4,9 | 22,80 | 0,65 | 0,033 |
| 5 | 6,7 | 22,86 | 0,71 | 0,011 |
| 6 | 8,5 | 22,88 | 0,73 | 0 |
| 7 | 9,7 | 22,88 | 0,73 | |

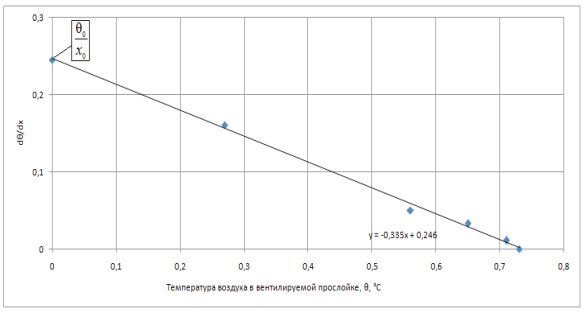


*Рисунок 3 –График зависимости $d\theta_{пр}(x)/dx$ температуры воздуха в вентилируемой прослойке по высоте фасада, θ, °С*
*Illustration 3 – Crossplot from the air temperature in the height ventilated layer, θ, °С*

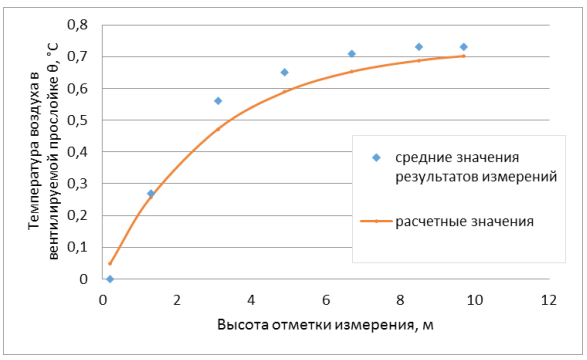


*Рисунок 4 – Изменение средних значений температуры воздуха в вентилируемой прослойке НФС по высоте стены административно-бытовой части корпуса УНПЛ ААИСК, ориентированной на ЮВ*
*Illustration 4 – Modification of the average temperature in the height ventilated layer oriented on the South-East*

Применение рассмотренного выше метода обработки экспериментальных данных позволило получить параметры уравнения (3) $x_0$=2,97 м и $\theta_0$=0,73 °С.

При полученных значениях параметров $x_0$ и $\theta_0$ решение уравнения (3), описывающее изменение температуры по высоте воздушной прослойки, принимает вид:

$$\theta_{пр}(x) = 0,73 \cdot (1 - e^{-\frac{x}{2,97}}). \qquad (6)$$

Кривая, соответствующая этому уравнению, представлена на рисунке 4. Относительное среднее квадратичное отклонение экспериментальных значений от рассчитанных по уравнению (6) составляет 0,1. Полученное значение показывает допустимую погрешность между расчетными и экспериментальными данными.

В [1 и 2] получено, что воздух, поступающий в вентилируемую прослойку, изменяет свою температуру до некоторого неизменного значения $t_0$. Если $t_н$ – начальная температура воздуха на входе в прослойку, то величина ($t_0$ – $t_н$) является по своему физическому смыслу предельным отклонением температуры воздуха в вентилируемой прослойке от своего начального значения. Величина $x_0$ – это высота, на которой разность температур ($t_0$ – $t_{пр}$) становится меньше своего предельного значения ($t_н$ – $t_0$) в *e* раз. При этом значение $t_0$ зависит только от условий передачи теплоты через ограждение и не связано с начальной температурой воздуха на входе в прослойку НФС. Уравнение (2) позволило рассчитать по значению параметра $\theta_0$ значение параметра $t_0$ = 22,9 °С.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования воздушно-теплового режима вентилируемой прослойки НФС проведено натурное измерение температуры воздуха по ее высоте. Проведена обработка полученных экспериментальных данных по разработанной методике определения параметров теоретически полученного уравнения. Полученные значения параметров $x_0$, $t_0$ уравнения (1) позволяют с большой точностью рассчитать распределение температуры по высоте прослойки, что указывает на возможность применения рассмотренного метода для уточнения расчетных значений параметров, которые используются при расчетах тепловой защиты НФС.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Цыкановский Е.Ю. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором. // Журнал АВОК. 2004, № 2 С. 20 – 26, № 3 С. 20 – 26.

2. Умнякова Н.П. Прообразы конструкций вентилируемых фасадов в зданиях древней Руси // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 25 – 28.

3. Гагарин В.Г. О некоторых теплотехнических ошибках, допускаемых при проектировании вентилируемых фасадов // АВОК. 2005. № 2. С. 52 – 58.

4. Умнякова Н.П. Теплозащитные свойства эксплуатируемых навесных вентилируемых фасадных конструкций. // Жилищное строительство. 2011. № 2. С. 2 – 6.

5. Туснина В.М., Емельянов Д.А. К вопросу расчета и проектирования навесных фасадных систем // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 3. С. 38 – 42.

6. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Лушин К.И. Скорость движения воздуха в прослойке навесной фасадной системы, при естественной вентиляции. // Жилищное строительство. 2013. № 10. С. 14 – 17.

7. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Лушин К.И., Плющенко Н.Ю. Учет теплопроводных включений и вентилируемой прослойки при расчетах сопротивления теплопередаче стены с навесной фасадной системой (НФС). // Строительные материалы. 2016. № 6 стр. 32 – 35.

8. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М. 1982. 416 с.

9. Sedlbauer K., Künzel H.M. Luftkonvektionseinflüsse auf den Wärmedurchgang von beluüfteten Fassaden mit Mineralwolledämmung // WKSB. 1999. Jg. 44. H. 43.

10. Машенков А.Н., Косолапов Е.А., Чебурканова Е.В. Общая система уравнений Буссинеска для одномерной свободной конвекции в плоском вертикальном слое. // Приволжский научный журнал. 2012. №2. С. 93-98.

11. Gagliano A., Patania F., Nocera F., Ferlito A., Galesi A. Thermal performance of ventilated roofs during summer period // Energy and Buildings. June 2012. Volume 49. P. 611–618

12. Туснина О.А., Емельянов А.А., Туснина В.М. Анализ теплотехнических свойств различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8. С. 54 – 63.

13. Корнилов Т.А., Рахматуллин А.А. О состоянии вентилируемых фасадных систем в Якутии // Жилищное строительство. 2007. № 6. С. 25 – 32.

14. Нетишина К.А., Рязанова Г.Н. Критерии оценки качества возведения вентилируемых фасадов // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7. № 2. С 4 – 8.

15. Синицына А.С. Оценка влияния внешних факторов на скорость воздушного потока и влагоудаления из воздушного зазора вентилируемого фасада // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. № 1(40). С. 46 – 50.

16. Гагарин В.Г., Гувернюк С.В., Лушин К.И. Моделирование эмиссии волокон из минераловатного утеплителя навесной фасадной системы с вентилируемой прослойкой. // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 9. С. 27 – 29.

17. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О нормировании теплозащиты и требованиях расхода энергии на отопление и вентиляцию в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий». Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 31-2 (50). С. 468-474.

18. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Учет теплотехнических неоднородностей ограждений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания // Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 3 – 7.

19. Киселёв И.Я. Особенности теплопереноса через минераловатные изделия // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 2. С. 103 – 105.

20. Умнякова Н.П. Расчет температуры воздуха в вентилируемой воздушной прослойке вентфасада с учетом ветра // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 6(994). С. 36 – 37.

# THE EXPERIMENTAL DETERMINATION METHODOLOGY OF THE PARAMETERS IN THE EQUATION OF THE AIR TEMPERATURE DISTRIBUTION ON THE HFS HEIGHT

*V.G. Gagarin, N.Yu. Plyushchenko, A.R. Kosarev*

## ANNOTATION

*The research of the HPS effectiveness and the area of their application because of the wide application in the construction of hinged facade systems (NFS) with a ventilated air interlayer is actual nowadays. The full-scale experimental study of the temperature change in the facade height in the summer period is carried out. The differential equation for the distribution of temperature along the interlayer height is used for the process of the experimental data. To simplify the processing of the experimental data, in this differential equation the variability is made. The equation contains two parameters, which depend on the temperature of the outside*

*solution. The equation is represented in finite differences and by means of such equation the determination of the parameters of the equation from the experimental data is obtained. The calculation of the differential equation with the found parameters is presented. The calculations from the obtained equation are compared with the experimental data. The comparative analysis shows an acceptable error between calculated and experimental data. The developed technique for the equation parameters' determination makes it possible to find the numerical values of the air gap characteristics, which would increase the calculations' accuracy for the operational HFS parameters' determination in their thermal performance.*

***KEYWORDS:*** *temperature, air-thermal behavior, ventilated air gap, Hinged Facade System (HFS), thermal building performance.*

## REFERENCES

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Tsykanovsky E.Yu. Raschet teplozashiti fasadov s ventiliruemim zazorom [Calculation of thermal insulation of facades with ventilated air gap]. Zhurnal AVOK, 2004, no 2 pp. 20 – 26 ; no 3, pp. 20 – 26.
2. Umnyakova N.P. Proobrazy konstruktsiy ventiliruyemykh fasadov v zdaniyakh drevney rusi [Prototypes of the designs of ventilated facades in buildings of ancient Russia]. Zhilishchnoye stroitel'stvo, 2012, no 6, pp. 25 – 28.
3. Gagarin V.G., O nekotoryh teplotehnicheskih oshibkah, dopyskaemih pri proektirovanii ventiliruemih fasadov [About some thermal errors in the design of ventilated facades]. AVOK, 2005, no 2, pp. 52 – 58.
4. Umnyakova N.P. Teplozashitnie svoystva ekspluatiruemih navesnih ventiliruemih fasadnih konstruktsii [Thermal insulation properties operated ventilated facade constructions]. Zhilishnoe stroitel'stvo, 2011, no 2, pp.2 – 6.
5. Tusnina V.M., Emel'yanov D.A. K voprosy rascheta u proektirovaniya navesnih fasadnih system [To the question of calculation and design of curtain facade systems]. Promishlennoe u grazhdanskoe stroitel'stvo, 2016, no 3, pp. 38 – 42.
6. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I. Skorost' dvizheniya v prosloyke navesnoy fasadnoy sistemi, pri estestvennoy ventilyatsii [The velocity of air within the layer of the suspended facade system, with natural ventilation]. Zhilishnoe stroitel'stvo, 2013, no 10, pp. 14 – 17.
7. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I., Plushenko N.Yu. Uchet teploprovodnyh vkluchenii u ventiliruemoy prosloyki pri raschetah soprotivleniya teploperedache steni s navesnoy fasadnoy sistemoy (NFS) [Accounting of heat-conducting inclusions and ventilated layer in the calculations of thermal resistance of the wall with a hinged facade systems (HFS)]. Stroitel'nie materiali, 2016, no 6, pp.32 – 35.
8. Bogoslovsky V.N. Stroitel'naya teplofizika [Building Thermophysics]. Moscow, 1982, 416 p.
9. Sedlbauer, K., Künzel, H. M. Vliyaniye konvektsii vozdukha na teproperedachu ventiliruyemykh fasadov s mineralovatnym uteplitelem [Air convection influence on the heat transfer of ventilated facades with mineral wool insulation]. WKSB, 1999, vol. 44, no 43, pp. 134 – 141.
10. Mashenkov A.N., Kosolapov E.A., Cheburkanova E.V. Obshya sistema uravnenii Bissineska dlya odnomerniy svobodnoy konvektsii v ploskom vertikal'nom sloe [The total system of equations for one-dimensional Boussinesq free convection in a flat vertical layer]. Privolzhskii nauchnii zhurnal, 2012, no 2, pp. 93 – 98.
11. Gagliano A., Patania F., Nocera F., Ferlito A., Galesi A. Teplovie harateristiki ventiliruemih krish v letnii period [Thermal performance of ventilated roofs during summer period]. Energy and Buildings, 2012, vol. 49, pp.611 – 618.
12. Tusnina O.A., Emel'yanov A.A., Tusnina V.M. Analyz teplotehnicheskih svoystv razlichnih konstruktivnih system navesnih ventiliruemih fasadov [Analysis of thermal properties of different structural systems of hinged ventilated facades]. Inzhenerno-stroitel'nii zhurnal, 2013, no 8, pp. 54 – 63.
13. Kornilov T.A., Rahmatullin A.A. O sostoyanii ventiliruemih fasadnih system v Yakutii [Status of ventilated facade systems in Yakutia]. Zhilishnoe stroitel'stvo, 2007, no 6, pp. 25 – 32.
14. Netishina K.A., Ryazanova G.N. Kriterii otsenki kachestva vozvedeniya ventiliruemih fasadov [Criteria for assessing the quality of erection of ventilated facades]. Gradostroitel'stvo u architektura, 2017, vol, 7, no 2, pp.4 – 8.
15. Sinitsina A.S. Otsenka vkiyaniya vneshnih faktorov na skorost' vozdushnogo potoka b vlagoydaleniya iz vozdushnogo zazora ventiliruemogo fasada [Assessment of the impact of external factors on the rate of air flow and dehumidification of the air gap of a ventilated façade]. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshenia, 2017, no 1(40), pp.46 – 50.
16. Gagarin V.G., Guvernyuk S.V., Lushin K.I. Modelirovanie emissii volokon iz mineral'nogo uteplitelya navesnoy fasadnoy sistemi s ventiliruemoy prosloykoy [Simulation of emission of the fibers of mineral wool insulation suspended facade system with a ventilated interlayer]. Promishlennoe u grazhdanskoe stroitel'stvo, 2013, no 9, pp. 27 – 29.
17. Gagarin V.G., Kozlov V.V. O normirovanii teplozashiti u trebovaniyahrashoda energii na otoplenie u ventilyatsiyu v proekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP «Teplovya zashita zdanii» [On the normalization of the thermal protection and the requirements of energy consumption for heating and ventilation in draft of the updated version of SNiP «thermal protection of buildings»]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo architekturno-stroitel'nogo universiteta, stroitel'stvo u architektura, 2013, no 31-2(50), pp.468 – 474.
18. Gagarin V.G., Nekludov A.Yu. Uchet teplotehnicheskih neodnorodnostey ograzhdenii pri opredelenii teplovoy nagruzki na sistemy otopleniya zdaniya [Accounting of thermal inhomogeneities fences when determining the heat load on the heating system of the building]. Zhilishchnoye stroitel'stvo, 2012, no 6, pp.3 – 7.
19. Kiselov I.YA. Osobennosti teploperenosa cherez mineralovatnyye izdeliya [Features heat transfer through mineral wool products]. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo, 2017, no 2, pp.103 – 105.
20. Umnyakova N.P. Raschet temperatury vozdukha v ventiliruyemoy vozdushnoy prosloyke ventfasada s uchetom vetra [Calculation of air temperature in the ventilated air gap of the ventilated façade with the wind]. BST: Byulleten' stroitel'noy tekhnikia, 2017, no 6(994), pp.36 – 37.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Гагарин Владимир Геннадьевич (г. Москва, Россия) – доктор технических наук, профессор, Scopus Author ID 7003607376, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВО «НИУ МГС» (129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, e-mail: gagarinvg@yandex.ru).*

*Gagarin Vladimir Gennadievich (Moscow, Russia) – doctor of Technical Sciences, Professor, Scopus Author ID 7003607376, Professor of the Department of «Heat and Gas Supply and Ventilation» FGBOU V NIU MGS (129337, Central Federal District, Moscow, Yaroslavskoe shosse, d .26, e-mail: gagarinvg@yandex.ru).*

*Плющенко Плющенко Наталья Юрьевна (г. Москва, Россия) – старший преподаватель, Scopus Author ID 57192381300, старший преподаватель кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ» (129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, e-mail: Natasha_tgv@mail.ru).*

*Plyushchenko Natalia Yurevna (Moscow, Russia) – senior Lecturer, Scopus Author ID 57192381300, Senior Lecturer of the Department of «Heat and Gas Supply and Ventilation» FGBOU V NIU MGSU (129337, Central Federal District, Moscow, Yaroslavl highway, 26, e-mail: Natasha_tgv@mail.ru).*

*Косарев Александр Романович (г. Москва, Россия) – магистрант, магистрант, направление подготовки 08.04.01 «Строительство», профиль «Энергоэффективность и энергосбережение в зданиях, ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ» (129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, e-mail: beloglazov_ar@rambler.ru).*

*Kosarev Alexander Romanovich (Moscow, Russia) – master student, master student, training course 08.04.01 «Construction», profile «Energy Efficiency and Energy Saving in Buildings, FGBOU VO» NIU MGSU «(129337, Central Federal District, Moscow, Yaroslavskoe shosse, d .26, e-mail: beloglazov_ar@rambler.ru).*

УДК 711:625.712

# ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В РОССИЙСКИХ ГОРОДАХ: ПЕРСПЕКТИВЫ АКТУАЛИЗАЦИИ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГОРОДСКИХ УЛИЦ

***Е.С. Преловская[1,2], А.Г. Левашев[2], А.Ю. Михайлов[2], Б. Энгель[3]***

*[1]ООО «ЦТТ», г. Иркутск, Россия;*
*[2]Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия;*
*[3]Технический университет Карлсруэ, г. Карлсруэ, Германия*

## АННОТАЦИЯ

*По результатам анализа нормативной и научно-технической отечественной и зарубежной литературы по вопросам формирования, функционирования УДС и проектирования уличного пространства, сформирована обобщённая классификация городских улиц. Классификация обобщена с учетом закономерности соотношения транспортных и средообразующих функций городских улиц и определении на их основе значимости роли улицы в городской среде как общественного пространства (функция «места») и мультимодальной коммуникации (функция «передвижения»). Функция «места» рассматривает тип и концентрацию объектов тяго-тения по фронту застройки улицы, т.к. данные факторы влияют на характер использования улицы и определяют особенности формирования структуры городской мобильности. Кроме градостроительныхxарактеристиктерритории классификационная матрица учитывает технические параметры уличного пространства и иерархию приоритетов способов передви-жений. Апробация обобщенной классификации произведена на примере центральной части г. Иркутска, по результатам которой рекомендованы следующие типы улиц: городской бульвар, улица смешенного движения,мультимодальная улица, улица преимущественного движения пользователей общественного транспорта и не моторизированных участников дорожного движения.Сформированная классификация позволит при проектировании уличного простран-ства выбирать соответствующие типы улиц, с целью повышения комфортности городской среды, посредством сбалансированности функций застройки и структуры мобильности ее пользователей.*

***КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:*** *транспортное планирование; городская мобильность; классификация городских улиц; проектирование уличного пространства.*

***Благодарности:*** *настоящее исследование проведено в рамках выполнения задания совместного гранта Министерства образования и науки РФ и Службы академических обменов Германии (DAAD).*

## ВВЕДЕНИЕ

С растущим уровнем автомобилизации, как сопутствующим эффектом урбанизации и субурбанизации современных российских городов, выдвигаются новые требования к обеспечению городской мобильности с точки зрения энергоэффективности, экологичности, повышению безопасности и комфорта. В ответ на негативные последствия роста автомобилиза-