



ISSN 0044-4472

7'2020

# ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

[www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)

издается с 1958 г.



ООО "Теполфол"

Производство энергоэффективной  
теплоизоляции из вспененного полиэтилена

[www.tepofol.ru](http://www.tepofol.ru)

## НАДЕЖНЫЙ

## УНИКАЛЬНЫЙ

## ДОЛГОВЕЧНЫЙ

РАЗРАБОТАНО И ПРОИЗВЕДЕНО В РОССИИ, ПАТЕНТ №2645190

Теполфол инертен в условиях агрессивной среды и не выделяет вредных веществ.  
Благодаря технологии замкового соединения достигается единое герметичное теплоизоляционное полотно.  
При соблюдении рекомендаций хранения и монтажа Теполфол имеет неограниченный срок службы.



Комитет Торгово-промышленной палаты РФ по предпринимательству  
в сфере строительства

АО «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования  
жилых и общественных зданий» (АО «ЦНИИЭП жилища»)

Объединенная редакция научно-технических журналов  
«Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®



## X Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2020: инновации для индустриального домостроения»

# InterConPan-2020

International Conference of Large-panel Construction

**7-9 сентября 2020 г. / September 7-9, 2020**

**Москва / Moscow**

**Место проведения:** Конгресс-центр Торгово-промышленной палаты РФ

(Москва, ул. Ильинка, 6/1, стр. 1)



### ТЕМАТИКА:

- Оборудование и технологии для модернизации предприятий КИД
- Инновационные строительные системы
- BIM технологии в сборном домостроении
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Архитектурно-планировочные решения
- Новые решения фасадов и внутренней отделки
- Качество и энергоэффективность индустриальных зданий
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

### ПРОГРАММА:

**7 сентября** Пленарное заседание

Секции: «Архитектура крупнопанельных зданий»;  
«Инновационная технология предприятий индустриального домостроения»

**8 сентября** Выездная сессия

ЗАО «198 КЖИ» (АО ХК «ГВСУ «Центр»),  
г. Можайск  
Завод БЭНПАН (ООО «БЭНСТРОЙ»),  
Московская обл.

**9 сентября** Выездная сессия

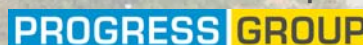
Ростокинский завод ЖБК (ООО «Первый ДСК»)  
г. Москва



Генеральный спонсор:



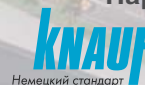
Постоянный спонсор:



Постоянный партнер:



Партнеры:



**Электронная заявка: [www.interconpan.ru](http://www.interconpan.ru)**

**Организационный комитет:**

Телефон: 8 903 550-20-35, +7 (499) 976-20-36, 976-22-08

[kpd-conf@mail.ru](mailto:kpd-conf@mail.ru)

[mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru)

[www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3, оф. 408, редакция журнала «Жилищное строительство»

## Учредитель журнала

АО «ЦНИИЭП жилища»

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал

Входит в Перечень ВАК, государственный проект РИНЦ и RSCI на платформе Web of Science

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации № ФС77-64906

# ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с 1958 г.

7'2020

## Главный редактор

ЮМАШЕВА Е.И.,  
инженер-химик-технолог,  
почетный строитель России

## Редакционный совет:

НИКОЛАЕВ С.В.,  
председатель, д-р техн. наук,  
АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва)

АЗАРОВ В.Н.,  
д-р техн. наук (Волгоград)

АКИМОВ П.А.,  
д-р техн. наук, академик РААСН  
(Москва)

АЛЕКСЕЕВ Ю.В.,  
д-р архитектуры, профессор (Москва)

ВАВРЕНЮК С.В.,  
д-р техн. наук, член-корреспондент  
РААСН (Владивосток)

ВОЛКОВ А.А.,  
д-р техн. наук, член-корреспондент  
РААСН (Москва)

ГАГАРИН В.Г.,  
д-р техн. наук, член-корреспондент  
РААСН (Москва)

ЖУСУПБЕКОВ А.Ж.,  
д-р техн. наук (Астана, Казахстан)

ЗВЕЗДОВ А.И.,  
д-р техн. наук, президент ассоциации  
«Железобетон» (Москва)

ИЛЬЧИЧЕВ В.А.,  
д-р техн. наук, академик РААСН  
(Москва)

КОЛЧУНОВ В.И.,  
д-р техн. наук, академик РААСН  
(Курск)

МАНГУШЕВ Р.А.,  
д-р техн. наук, член-корреспондент  
РААСН (Санкт-Петербург)

ОРЕЛЬСКАЯ О.В.,  
д-р архитектуры, член-корреспондент  
РААСН, профессор (Нижний Новгород)

СУББОТИН О.С.,  
д-р архитектуры (Краснодар)

ТЕР-МАРТИРОСЯН А.З.,  
д-р техн. наук (Москва)

ТИХОНОВ И.Н.,  
д-р техн. наук (Москва)

## Авторы

опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации.

## Редакция

может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора.

## Перепечатка

и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора.

**Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.**

## Защита зданий от внешних воздействий

В.П. ГУСЕВ, В.И. ЛЕДЕНЕВ, А.И. АНТОНОВ, И.В. МАТВЕЕВА

Расчеты шума в воздуховодах при оценке шумовых воздействий промышленных предприятий на городскую застройку . . . . . 3

В.Н. БОБЫЛЕВ, П.А. ГРЕБНЕВ, В.И. ЕРОФЕЕВ,

Д.В. МОНИЧ, Л.А. ТИХОМИРОВ, Д.С. КУЗЬМИН

Звукоизоляция сэндвич-панелей с присоединенными облицовками . . . . . 8

Н.А. КОЧКИН, И.Л. ШУБИН, А.А. КОЧКИН

Влияние конструкции гибкой плиты на отношение на повышение звукоизоляции существующих ограждений . . . . . 14

## Тепловая защита зданий

Е.В. КОРКИНА, Е.В. ГОРБАРЕНКО, П.П. ПАСТУШКОВ, М.Д. ТЮЛЕНЕВ

Исследование температуры нагрева поверхности фасада от солнечной радиации при различных условиях облучения . . . . . 19

Особенности применения утеплителя ТЕПОФОЛ® . . . . . 26

А.Д. ЖУКОВ, К.А. ТЕР-ЗАКАРЯН, И.В. БЕССОНОВ,

В.С. СЕМЕНОВ, Е.А. ЗИНОВЬЕВА

Эффективные полы и кровли с применением пенополиэтилена . . . . . 28

## Градостроительство и архитектура

В.А. ЗЕМЦОВ, И.А. ШМАРОВ, Л.В. БРАЖНИКОВА, В.В. ЗЕМЦОВ

Относительная яркость фасадов параллельно стоящих зданий в городской П-образной застройке . . . . . 34

## Современное проектирование

Е.В. ЛЕВИН, А.Ю. ОКУНЕВ

Качество воздуха в жилых и общественных зданиях.

Роль вентиляционного воздухообмена . . . . . 41

**Founder of the journal**  
AO «TSNIEP zhilishcha»

Monthly scientific-technical  
and industrial journal

The journal is registered by the RF  
Ministry of Press, Broadcasting  
and Mass Communications,  
№ FS77-64906

**Editor-in-chief**

YUMASHEVA E.,  
*chemical process engineer,  
Honorary Builder of Russia*

**Editorial Board:**

NIKOLAEV S.,  
*Chairman,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
AO «TSNIEP zhilishcha» (Moscow)*

ALEKSEEV Yu.V.,  
*Doctor of Architecture, Professor  
(Moscow)*

AZAROV V.,  
*Doctor of Sciences (Engineering),  
(Volgograd)*

AKIMOV P.,  
*Doctor of Sciences (Engineering),  
Academician of RAACS (Moscow)*

VAVRENJUK S.,  
*Doctor of sciences (Engineering),  
Corresponding member of RAACS  
(Vladivostok)*

VOLKOV A.,  
*Doctor of Sciences (Engineering),  
Corresponding member of RAACS  
(Moscow)*

GAGARIN V.,  
*Doctor of Sciences (Engineering),  
Corresponding member of RAACS  
(Moscow)*

ZHUSUPBEKOV A.,  
*Doctor of Sciences (Engineering)  
(Astana, Kazakhstan)*

ZVEZDOV A.,  
*Doctor of Sciences (Engineering),  
President, Association «Zhelezobeton»  
(Moscow)*

IL'ICHEV V.,  
*Doctor of Sciences (Engineering),  
Academician of RAACS, Research  
Supervisor of the Academic Scientific  
and Creative Center of RAACS (Moscow)*

KOLCHUNOV V.,  
*Doctor of Sciences (Engineering),  
Academician of RAACS (Kursk)*

MANGUSHEV R.,  
*Doctor of Sciences (Engineering),  
Corresponding member of RAACS  
(Saint-Petersburg)*

ORELSKAYA O.V.,  
*Doctor of Architecture, Corresponding  
Member of RAACS, Professor (Nizhny  
Novgorod)*

SUBBOTIN O.,  
*Doctor of Architecture (Krasnodar)*

TER-MARTIROSIAN A.,  
*Doctor of sciences (Engineering)  
(Moscow)*

TIKHONOV I.N.,  
*Doctor of Sciences (Engineering)  
(Moscow)*

**The authors**

of published materials are responsible for the  
accuracy of the submitted information, the  
accuracy of the data from the cited literature  
and for using in articles data which are not  
open to the public.

**The Editorial Staff**

can publish the articles as a matter for discus-  
sion, not sharing the point of view of the author.

**Reprinting**

and reproduction of articles, promotional and  
illustrative materials are possible only with the  
written permission of the editor-in-chief.

**The Editorial Staff is not responsible for  
the content of advertisements and  
announcements.**

# ZHILISHCHNOE STROITEL'STVO

Published since 1958

**7'2020**

## ***Protection of buildings against external impacts***

V.P. GUSEV, V.I. LEDENEV, A.I. ANTONOV, I.V. MATVEEVA

Calculations of Noise in air Ducts when Evaluating the Noise Effects

of Industrial Enterprises on Urban Development . . . . . 3

V.N. BOBYLEV, P.A. GREBNEV, V.I. EROFEEV,

D.V. MONICH, L.A. TIHOMIROV, D.S. KUZMIN

Sound Insulation of Sandwich Panels with Additional Claddings . . . . . 8

N.A. KOCHKIN, I.L. SHUBIN, A.A. KOCHKIN

Influence of the Flexible Plate with a Space Structure

on the Sound Insulation Improvement . . . . . 14

## ***Heat protection of buildings***

E.V. KORKINA, E.V. GORBARENKO, P.P. PASTUSHKOV, M.D. TYULENEV

Investigation of the Heating Temperature of the Facade Surface

from Solar Radiation under Various Irradiation Conditions . . . . . 19

Features of Application of Insulation TEPOFOL® . . . . . 26

A.D. ZHUKOV, K.A. TER-ZAKARYAN, I.V. BESSONOV,

V.S. SEMENOV, E.A. ZINOV'EVA

Effective Floors and Roofs Using Polyethylene Foam . . . . . 28

## ***Town planning and architecture***

V.A. ZEMTSOV, I.A. SHMAROV, L.V. BRAZHNIKOVA, V.V. ZEMTSOV

Relative Brightness of Facades of Parallel Buildings in Urban U-Shaped Development . . . . . 34

## ***Modern design***

E.V. LEVIN, A.Yu. OKUNEV

Air Quality in Residential and Public Buildings. Ventilation Air Exchange Role. . . . . 41

**Editorial address:** 9/3 Dmitrovskoye Hwy, 127434, Moscow, Russian Federation

**Tel.:** (499) 976-22-08, 976-20-36

**Email:** mail@rifsm.ru **http://www.journal-hc.ru** **http://www.rifsm.ru**

УДК 629.042.5

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-3-7>

В.П. ГУСЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук; В.И. ЛЕДЕНЕВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук, А.И. АНТОНОВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук,  
И.В. МАТВЕЕВА<sup>2</sup>, канд. техн. наук (times02@yandex.ru)

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук  
(127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

<sup>2</sup> Тамбовский государственный технический университет (392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106)

## Расчеты шума в воздуховодах при оценке шумовых воздействий промышленных предприятий на городскую застройку

*Промышленные предприятия различного назначения, в том числе и энергетические объекты, располагаясь в городской застройке, создают на ее территории шумовой режим с повышенными уровнями. Нередко повышенные шумовые воздействия возникают при излучении звуковой энергии устьями газоздушных систем предприятий. Величина излучаемой звуковой мощности воздуховодами зависит от спада ее уровней внутри их и на участках от источника шума до места излучения. Поэтому определение спадов уровней звуковой мощности в воздуховоде является важной задачей при оценке воздействий шума на городскую застройку. В статье рассмотрены возможные способы оценки спадов уровней звуковой мощности внутри воздуховодов. Показано, что для расчетов спадов уровней в воздуховодах из металла следует использовать комбинированный метод, реализующий зеркально-диффузную модель отражения звука от стенок воздуховода. Установлено также, что метод расчета спада уровней, предложенный в ГОСТ Р EN 12354-5-2012 для оценки шума на отдельных прямых участках воздуховодов, эффективен при изменении параметров воздуховодов и может быть использован при проектировании воздуховодов с позиций защиты окружающей среды от шумовых воздействий различных предприятий, в том числе и предприятий, обеспечивающих жизнедеятельность города.*

**Ключевые слова:** шум промышленных предприятий, шумовые воздействия, городская застройка, газоздушные системы, расчеты шума в воздуховодах.

**Для цитирования:** Гусев В.П., Леденев В.И., Антонов А.И., Матвеева И.В. Расчеты шума в воздуховодах при оценке шумовых воздействий промышленных предприятий на городскую застройку // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-3-7>

V.P. GUSEV<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); V.I. LEDENEV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), A.I. ANTONOV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering),  
I.V. MATVEEVA<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (times02@yandex.ru)

<sup>1</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

<sup>2</sup> Tambov State Technical University (106, Sovetskaya Street, Tambov, 392000, Russian Federation)

### Calculations of Noise in air Ducts when Evaluating the Noise Effects of Industrial Enterprises on Urban Development

Industrial enterprises for various purposes, including energy facilities, located in urban development, create a noise regime with increased levels on its territory. Often, increased noise effects occur when sound energy is emitted from the mouths of gas-air systems of enterprises. The amount of sound power emitted by air ducts depends on the decline in its levels inside them and in the areas from the noise source to the radiation site. Therefore, the determination of sound power level drops in the air duct is an important task when assessing the impact of noise on urban development. The article considers possible ways to estimate the sound power level drops inside air ducts. It is shown that a combined method implementing a mirror-diffuse model of sound reflection from the walls of the air duct should be used to calculate the level drops in metal air ducts. It is also established that the method for calculating the decline in levels proposed in the GOST R EN 12354-5-2012 for noise estimation on separate straight sections of air ducts, responds well to change in parameters of the ducts and can be used when designing the air duct from the standpoint of environmental protection from the noise levels of various companies, including enterprises providing the life activity of the city.

**Keywords:** noise of industrial enterprises, noise impacts, urban development, gas-air systems, calculations of noise in air ducts.

**For citation:** Gusev V.P., Ledenev V.I., Antonov A.I., Matveeva I.V. Calculations of noise in air ducts when evaluating the noise effects of industrial enterprises on urban development. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 7, pp. 3–7. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-3-7>

Шумовая обстановка на территории городской застройки во многих случаях зависит от уровней шума, излучаемого устьями воздуховодов на предприятиях, располагаемых в городской застройке [1]. Точность оценки таких шумовых воздействий во многом связана с точностью определения звуковой мощности, излучаемой воздуховодом. Для ее вычисления необходимо иметь сведения о спадах уровней звуковой мощности на всех участках воздуховода от источника шума до его устья, на которых имеются существенные различия в условиях формирования и распространения звуковой энергии. Исходя из этого можно выделить три характерных вида участков воздуховода: участок, на котором располагается источник шума; прямой участок воздуховода без видимой связи с источником шума; прямой участок, оканчивающийся открытым устьем воздуховода. Ниже в статье предлагаются методы определения спадов уровней на каждом из указанных участков.

В настоящее время имеются сведения о спадах уровней звуковой мощности только для участков второго вида. Данные для легких металлических воздуховодов приведены в таблицах СП 21.1325800.2016 в зависимости от гидравлического диаметра воздуховодов и октавных полос частот. Использование табличных данных показало ряд существенных недостатков. К ним относятся: дискретность информации о спадах уровней, определяемой одним числом для широких диапазонов гидравлических диаметров воздуховодов; отсутствие возможности учета влияния толщины стенок воздуховодов, а следовательно, и их звукоизоляции на уровни спадов звуковой мощности; не показано в явном виде влияние на спады уровней звукопоглощающих и звукоизолирующих характеристик стенок воздуховодов и характеристик их воздушной среды.

Меньшее количество недостатков имеет приведенное в ГОСТ Р ЕН 12354-5-2012 «Акустика зданий. Методы расчета акустических характеристик зданий по характеристикам их элементов. Часть 5. Шум инженерного оборудования» выражение для расчета спадов звуковой мощности на прямых участках воздуховода, имеющее вид:

$$\Delta L = \frac{a + 17,37 \cdot 10^{-0,1R}}{d}, \text{ дБ/м}, \quad (1)$$

где  $R$  – звукоизоляция стенок воздуховода, дБ;  $d$  – гидравлический диаметр воздуховода, м, определяемый в виде:

$$d = 4S/U, \quad (2)$$

где  $S$ ,  $U$  – площадь поперечного сечения воздуховода и его периметр;  $a$  – постоянная затухания, принимаемая согласно ГОСТ Р ЕН 12354-5-2012 для легких ме-

таллических воздуховодов круглого сечения равной  $a=0,08$ , а для прямоугольных воздуховодов  $a=0,02$ . В случае наличия на воздуховодах звукопоглощающей облицовки постоянная затухания определяется коэффициентом звукопоглощения  $a=17,37\alpha$ .

Выражение (1) по структуре согласуется с формулой Кремера [2], предложенной им для длинных помещений в виде:

$$\Delta L = 2,17\alpha \cdot U/S, \text{ дБ/м}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент звукопоглощения помещения. Следует отметить, что в связи с большой величиной звукоизоляции стенок помещений ее влияние на спады уровней ничтожно мало и оно по этой причине не учитывается в выражении (3).

Для расчетов спадов звуковой мощности в длинных каналах применяют также приведенную в [3] приближенную формулу Пининга в виде:

$$\Delta L = 1,5\alpha \cdot U/S, \text{ дБ/м}. \quad (4)$$

Выражение (1) более удобно по сравнению с табличными данными для анализа влияния различных факторов на величину спадов уровней и соответственно на выбор конструктивного решения воздуховодов. В выражении (1) непосредственно или опосредованно учитываются гидравлический диаметр, вид поперечного сечения, звукоизоляция стенок воздуховода, частотная характеристика шума, величина звукопоглощения облицовки воздуховода. Аналитическая форма записи выражения позволяет легко проследить влияние этих факторов на результаты расчетов.

В таблице дано сравнение результатов определения по формуле (1) с табличными данными СП 271.1325800.2016 «Системы шумоглушения воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила проектирования». Сравнение выполнено для необлицованных металлических воздуховодов прямоугольного сечения с толщиной стенок 1 мм. При расчетах спадов уровней по формуле (1) сведения о звукоизоляции стенок воздуховодов приняты по табл. 8.4 СП 271.1325800.2016, которые качественно согласуются с данными в [4].

Анализ данных таблицы показывает существенную зависимость спадов уровней от звукоизоляции стенок. Отсутствие учета звукоизоляции в табличных данных СП является основной причиной расхождений результатов по СП и ГОСТ. Частотная зависимость расхождений согласуется с частотными изменениями звукоизоляции стенок. В целом выполненные авторами расчеты спадов уровней для широкого диапазона гидравлических диаметров при различных толщинах стенок воздуховодов показали необходимость проведения обширных экспериментальных исследований

Сравнение спадов уровней звуковой мощности в воздуховодах, определенных по СП 271.1325800.2016 и ГОСТ Р ЕН 12354-5-2012  
Comparison of sound power level drops in air ducts defined by SP 271.1325800.2016 and GOST R EN 12354-5-2012

Способ оценки спадов	Снижение уровней мощности, дБ/м, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Гидравлический диаметр $d = 75-200$ мм								
По СП	0,6	0,6	0,45	0,3	0,3*	0,3	0,3	0,3
По ГОСТ при $d = 75$ мм	14,88	6,084	2,583	1,189	0,558	0,383	0,325	0,359
По ГОСТ при $d = 200$ мм	5,58	2,282	0,969	0,446	0,209	0,144	0,135	0,132
Гидравлический диаметр $d = 210-400$ мм								
По СП	0,6	0,6	0,45	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
По ГОСТ при $d = 210$ мм	5,314	2,173	0,922	0,425	0,199	0,137	0,116	0,128
По ГОСТ при $d = 400$ мм	2,79	1,141	0,484	0,223	0,105	0,072	0,061	0,067
Гидравлический диаметр $d = 410-800$ мм								
По СП	0,6	0,6	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
По ГОСТ при $d = 410$ мм	2,722	1,113	0,472	0,217	0,102	0,07	0,059	0,066
По ГОСТ при $d = 800$ мм	1,395	0,57	0,242	0,111	0,052	0,036	0,03	0,034
Гидравлический диаметр $d = 810-1600$ мм								
По СП	0,45	0,3	0,15	0,1	0,06	0,06	0,06	0,06
По ГОСТ при $d = 810$ мм	1,378	0,563	0,239	0,11	0,052	0,035	0,03	0,033
По ГОСТ при $d = 1600$ мм	0,697	0,285	0,121	0,056	0,026	0,018	0,015	0,017

\* Отмечены области удовлетворительного совпадения спадов мощности.

распространения в них звуковой энергии с целью выявления соответствия между расчетными и реальными величинами спадов и последующей корректировки данных, приведенных в СП.

Спады на участках первого и третьего видов зависят от условий возникновения звуковой энергии и ее распространения в пределах исследуемого участка. В этих случаях спады уровней непостоянны по длине и для их определения следует выполнять расчеты методами, используемыми для оценки энергетических характеристик шума в длинных помещениях.

Расчеты можно производить методами мнимых источников и прослеживания лучей, численным статистическим энергетическим методом, комбинированными геометрическо-статистическими методами [5–7]. Выбор конкретного метода во многом определяется характером отражения звука от ограждений, в данном случае от стенок воздуховода [8]. В воздуховодах с металлическими стенками, которые наиболее характерны для промышленных предприятий, характер отражения может быть зеркальным, диффузным или зеркально-диффузным [8]. Поэтому при расчетах в воздуховодах прямоугольного сечения могут быть использованы метод мнимых источников, реализующий зеркальную модель отражения, статистический энергетический метод, разработанный для расчетов при диффузном отражении звука, и их комбинации для расчетов при смешанном зеркально-диффузном характере отражения звука [9].

Анализ распространения звуковой энергии в воздуховодах свидетельствует о зеркально-диффузном характере отражения звука от стенок воздуховода.

При таком отражении внутри воздуховода кроме прямого звука образуется отраженное звуковое поле, включающее в себя зеркальную и диффузную составляющие [9]. Для воздуховодов с правильной прямоугольной формой в этом случае наиболее приемлем комбинированный метод расчета, в котором прямая и зеркально отраженная энергия определяется методом мнимых источников, а диффузно отраженная энергия – статистическим энергетическим методом [7]. Методика решения задач комбинированными методами рассмотрена в [7, 9, 10]. Применяемый в этом случае статистический метод основан на расчетной модели, описывающей распределение отраженной энергии в квазидиффузных звуковых полях помещений. Следует отметить, что подобная расчетная модель в последнее время используется также и в зарубежной практике при расчетах шума в помещениях при диффузном отражении звука от ограждений [11–16].

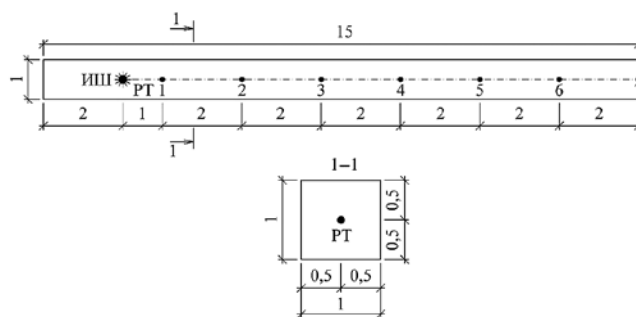
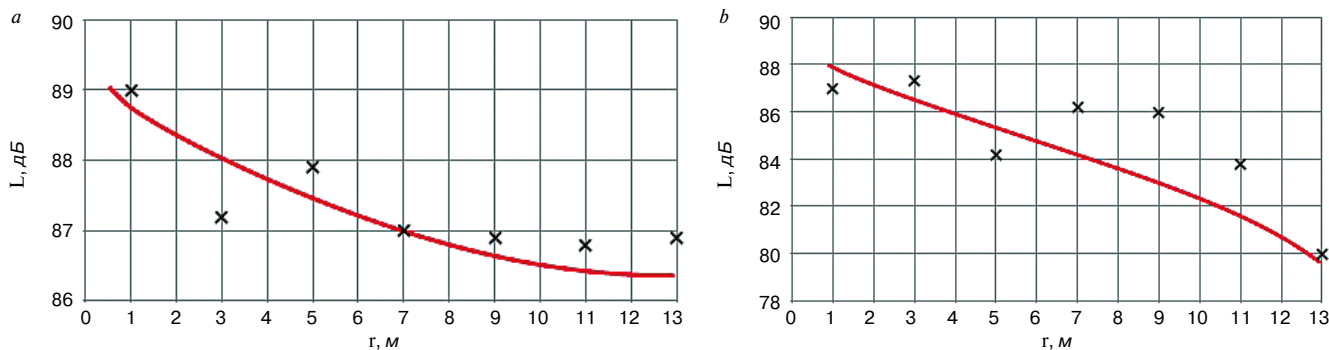


Рис. 1. Схемы воздуховода с расположением источника шума и расчетных точек

Fig. 1. Duct diagrams with the location of the noise source and design points



**Рис. 2.** Расчетные и экспериментальные уровни в воздуховоде при закрытом (а) и открытом (б) торцах воздуховода в октавной полосе частот с  $f_{cp} = 1000$  Гц при коэффициенте звукопоглощения  $\bar{\alpha} = 0,01$  и при 5% диффузно отраженной энергии: — — расчет; × — эксперимент

**Fig. 2.** Calculated and experimental levels in the air duct at the closed (a) and open (b) ends of the air duct in the octave frequency band with  $f_{SR} = 1000$  Hz at the sound absorption coefficient and at 5% of the diffusely reflected energy: — — calculation; × — experiment

Для оценки условий применимости комбинированного метода при определении спадов звуковой мощности в металлических воздуховодах были произведены серии расчетов при различных коэффициентах звукопоглощения внутри воздухопроводов и при различных соотношениях зеркально и диффузно отражаемых от стенок частей энергии. Установлено, что в металлических воздуховодах диффузно отражается только 5% падающей на стенки зеркальной энергии. Эта величина и рекомендуется при расчетах комбинированным методом в воздуховодах с легкими металлическими стенами.

Ниже в качестве примера приведены расчетные и экспериментальные данные, полученные для секции воздуховода из стали толщиной 1 мм. Схема воздуховода и точек измерения дана на рис. 1. На рис. 2 приведены графики изменений уровней мощности, полученные численным комбинированным методом, и результаты эксперимента при закрытом и открытом торцах воздуховода. Первый случай соответствует в воздуховоде участкам первого вида, а второй случай – участкам третьего вида при наличии в них ис-

точников шума. Получено хорошее согласование расчетных и экспериментальных данных.

### Выводы

1. При оценке распространения шума в воздуховоде от источника звука до устья необходимо производить расчеты спадов уровней звуковой мощности на отдельных участках с учетом условий формирования и распространения на них звуковой энергии.

2. Для расчетов спадов уровней звуковой мощности следует использовать комбинированный метод расчета, реализующий зеркально-диффузный характер отражения звука от стенок воздуховода.

3. В случае прямого участка второго вида для оценки спадов звуковой мощности можно использовать выражение (1), позволяющее в отличие от СП 271.1325800.2016 производить анализ влияния различных параметров воздуховода на величину спадов уровней звуковой мощности и соответственно дающее возможность для целенаправленного выбора конструктивных решений воздухопроводов.

### Список литературы

1. Гусев В.П., Жоголева О.А., Леденев В.И., Матвеева И.В. Расчет шума газоздушных систем ТЭЦ при оценке их шумового воздействия на застройку // *Жилищное строительство*. 2019. № 7. С. 47–51. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-47-51>
2. Kremer L. *Statistische Raumakustik*. Stuttgart: S/Hirzel Verlag. 1961.
3. Справочник по технической акустике. Л.: Судостроение, 1980. 440 с.
4. Боголепов И.И. *Промышленная звукоизоляция*. Л.: Судостроение, 1986. 368 с.
5. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л. Осипова, Е.Я. Юдина. М.: Стройиздат, 1987. 558 с.

### References

1. Gusev V.P., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I., Matveeva I.V. Calculation of noise of gas-air systems of thermal power plants in assessing their noise impact on buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 7, pp. 47–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-47-51>
2. Kremer L. *Statistische Raumakustik*. Stuttgart: S/Hirzel Verlag. 1961.
3. *Spravochnik po tekhnicheskoi akustike* [Handbook of technical acoustics]. Leningrad: Sudostroenie. 1980. 440 p. (In Russian).
4. Bogolepov I.I. *Promyshlennaya zvukoizolyatsiya* [Industrial sound insulation]. Leningrad: Sudostroenie, 1986. 368 p. (In Russian).



6. Жоголева О.А., Жоголев С.А., Соломатин Е.О. Расчет шума при проектировании звукоизоляции газовоздушных каналов (современная теория и практика) // *Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки*. 2018. № 2 (2). С. 63–66.
7. Giyasov B.I., Ledenyov V.I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound // *Инженерно-строительный журнал*. 2018. № 1 (77). С. 13–22.
8. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Федорова О.О. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях // *Приволжский научный журнал*. 2017. № 2 (42). С. 16–23.
9. Гусев В.П., Жоголева О.А., Леденев В.И., Соломатин Е.О. Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования // *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 52–54.
10. Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection // *Procedia Engineering of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacustics of Mashines*, DVM 2016. 2017. С. 218–225.
11. Billon A., Picaut J., Valeau V., Sakout A. Acoustic Predictions in Industrial Spaces Using a DiffusionModel // *Hindawi Publishing Corporation Advances in Acoustics and Vibration*. 2012. ID 260394. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/260394>
12. Visentin C., Prodi N., Valeau V., Picaut J. A numerical and experimental validation of the room acoustics diffusion theory inside long rooms // *21st International Congress on Acoustics. (Canada)*. 2013.
13. Visentin C., Prodi N., Valeau V., Picaut J. A numerical investigation of the Fick's law of diffusion in room acoustics // *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2012.
14. Foy C., Picaut J., Valeau V. Modeling the reverberant sound field by a diffusion process: analytical approach to the scattering // *Proceedings of Internoise. (San Francisco)*. 2015.
15. Foy C., Picaut J., Valeau V. Introduction de la diffusivité des parois au sein du modèle de diffusion acoustique // *CFA / VISHNO*. 2016.
16. Foy C., Valeau V., Picaut J., Prax C., Sakout A. Spatial variations of the mean free path in long rooms: Integration within the room-acoustic diffusion model // *Proceedings of the 22 International Congress on Acoustics. (Buenos Aires)*. 2016.
5. Snizhenie shuma v zdaniyakh i zhilykh raionakh. Pod red. G.L. Osipov, E.Ya. Yudin [Noise reduction in buildings and residential areas. Edited by G.L. Osipov, E.Ya. Yudin]. Moscow: Stroyizdat. 1987. 558 p. (In Russian).
6. Zhogoleva O.A., Zhogolev S.A., Solomatin E.O. Noise calculation in the design of sound insulation of gas-air channels (modern theory and practice). *Vestnik Volgodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. 2018. No. 2 (2), pp. 63–66. (In Russian).
7. Giyasov B.I., Ledenyov V.I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2018. No. 1 (77), pp.13–22. (In Russian).
8. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Fedorova O.O. Influence of the nature of sound reflection from fences on the choice of method for calculating air noise in civil and industrial buildings. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2017. No. 2 (42), pp. 16–23. (In Russian).
9. Gusev V.P., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I., Solomatin E.O. Method for evaluating the propagation of noise through the air channels of heating, ventilation and air conditioning systems. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2012. No. 6, pp. 52–54. (In Russian).
10. Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection. *In Procedia Engineering of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacustics of Mashines*, DVM 2016. 2017, pp. 218–225.
11. Billon A., Picaut J., Valeau V., Sakout A. Acoustic Predictions in Industrial Spaces Using a DiffusionModel. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Acoustics and Vibration*. 2012. ID 260394. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/260394>
12. Visentin C., Prodi N., Valeau V., Picaut J. A numerical and experimental validation of the room acoustics diffusion theory inside long rooms. *21st International Congress on Acoustics. (Canada)*. 2013.
13. Visentin C., Prodi N., Valeau V., Picaut J. A numerical investigation of the Fick's law of diffusion in room acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2012.
14. Foy C., Picaut J., Valeau V. Modeling the reverberant sound field by a diffusion process: analytical approach to the scattering. *Proceedings of Internoise. (San Francisco)*. 2015.
15. Foy C., Picaut J., Valeau V.. Introduction de la diffusivité des parois au sein du modèle de diffusion acoustique. *CFA. VISHNO*. 2016.
16. Foy C., Valeau V., Picaut J., Prax C., Sakout A. Spatial variations of the mean free path in long rooms: Integration within the room-acoustic diffusion model. *Proceedings of the 22 International Congress on Acoustics. (Buenos Aires)*. 2016.

УДК 699.844

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-8-13>

В.Н. БОБЫЛЕВ<sup>1</sup>, чл.-корр. РААСН, канд. техн. наук, П.А. ГРЕБНЕВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
В.И. ЕРОФЕЕВ<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук; Д.В. МОНИЧ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (dmitriy.monich@mail.ru);  
Л.А. ТИХОМИРОВ<sup>3</sup>, инженер; Д.С. КУЗЬМИН<sup>1</sup>, инженер

<sup>1</sup> Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65)

<sup>2</sup> Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (603024, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, 85)

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Звукоизоляция сэндвич-панелей с присоединенными облицовками

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции сэндвич-панелей. Исследованы образцы сэндвич-панелей со склейкой облицовок и среднего слоя и сэндвич-панели с акустическим разобщением облицовок и среднего слоя. Теоретические исследования проведены на базе теории самосогласования волновых полей с учетом резонансной и инерционной составляющих прохождения звука. Определены резервы повышения звукоизоляции сэндвич-панелей как разница между собственной звукоизоляцией и предельной звукоизоляцией ограждения. Предельная звукоизоляция ограждения соответствует инерционному прохождению звука, при этом резонансная составляющая отсутствует. По результатам проведенных теоретических исследований определены способы повышения звукоизоляции сэндвич-панелей, представленные в виде схемы. В данной статье рассмотрен один из способов повышения звукоизоляции сэндвич-панелей путем присоединения дополнительных облицовок из листовых материалов. Приведены частотные характеристики коэффициентов резонансного и инерционного прохождения звука через исследуемые сэндвич-панели. Результаты экспериментальных измерений подтверждают теоретические выводы об эффективности применения присоединенных облицовок для повышения звукоизоляции сэндвич-панелей в нормируемом диапазоне частот. Повышение звукоизоляции обеспечивается за счет снижения резонансного и инерционного прохождения звука через сэндвич-панели при смещении резонансной частоты системы масса – упругость – масса в диапазон более низких частот.

**Ключевые слова:** звукоизоляция, резонансное прохождение звука, инерционное прохождение звука, сэндвич-панель, акустическое разобщение облицовок и среднего слоя, присоединенные облицовки.

**Для цитирования:** Бобылев В.Н., Гребнев П.А., Ерофеев В.И., Монич Д.В., Тихомиров Л.А., Кузьмин Д.С. Звукоизоляция сэндвич-панелей с присоединенными облицовками // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 8–13. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-8-13>

V.N. BOBYLEV<sup>1</sup>, Corresponding Member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Candidate of Sciences (Engineering), P.A. GREBNEV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); V.I. EROFEEV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics);

D.V. MONICH<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (dmitriy.monich@mail.ru); L.A. TIHOMIROV<sup>3</sup>, Researcher; D.S. KUZMIN<sup>1</sup>, engineer

<sup>1</sup> Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilyinskaya street, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation)

<sup>2</sup> Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences – branch of Federal Research Center, Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences (85, Belinskogo Street, Nizhny Novgorod, 603024, Russian Federation)

<sup>3</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Sound Insulation of Sandwich Panels with Additional Claddings

The results of theoretical and experimental studies of sound insulation of sandwich panels are presented. Samples of sandwich panels with gluing cladding and the middle layer and a sandwich panel with acoustic separation of the cladding and the middle layer were studied. Theoretical studies were carried out on the basis of the theory of self-coordination of wave fields, taking into account the resonant and inertial components of sound transmission. The reserves for improving the sound insulation of sandwich panels are determined, as the difference between their own sound insulation and the maximum sound insulation of the fence. The maximum sound insulation of the fence corresponds to the inertial sound transmission, while there is no resonant component. Based on the results of the theoretical studies conducted, methods for improving the sound insulation of sandwich panels, which are presented in the form of a diagram, are determined. This article considers one of the ways to increase the sound insulation of sandwich panels by attaching additional claddings from sheet materials. Frequency characteristics of the coefficients of resonant and inertial sound transmission through the sandwich panels under study are presented. The results of experimental measurements confirm the theoretical conclusions about the effectiveness of the use of additional claddings to increase the sound insulation of sandwich panels in the normalized frequency range. Improving of sound insulation of sandwich panels is achieved by reducing of resonance and inertial sound transmission through the sandwich panels when the resonant frequency of the "mass-elasticity-mass" system is shifted to a lower frequency range.

**Keywords:** sound insulation, resonance sound transmission, inertial sound transmission, sandwich panel, acoustic separation of claddings and middle layer, additional claddings.

**For citation:** Bobylev V.N., Grebnev P.A., Erofeev V.I., Monich D.V., Tihomirov L.A., Kuzmin D.S. Sound insulation of sandwich panels with additional claddings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 7, pp. 8–13. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-8-13>

В практике строительства ежегодно увеличивается использование легких многослойных ограждающих конструкций, что позволяет снижать нагрузку на несущие конструкции зданий и уменьшать время монтажных работ. К данным конструкциям относятся сэндвич-панели – многослойные ограждающие конструкции, имеющие внешние жесткие листовые облицовки (гипсоволокнистые листы, гипсокартонные листы, цементно-стружечные плиты и др.) и легкий средний слой (пенопласт, минераловатные плиты и др.), заключенный между ними. Несущая способность данного типа ограждений обеспечивается совместной работой облицовок и среднего слоя, склеенных между собой. Конструкции данного типа имеют большой потенциал применения в качестве базового элемента внутренних ограждающих конструкций в малоэтажном строительстве, быстровозводимых перегородок в офисных и административных помещениях со свободными планировками, а также при изготовлении выгородок, кожухов для оборудования и кабин наблюдения в производственных цехах.

Распространение изгибных волн в многослойных пластинах было рассмотрено в работе [1]. В дальнейшем исследовались задачи о прохождении звука через многослойные сэндвич-панели с целью установить влияние на данный процесс различных физико-механических параметров [2–6]. В статье [7] проведено сравнение звукоизоляции сэндвич-панелей с однослойными ограждениями. Экспериментальные и теоретические исследования звукоизоляции сэндвич-панелей с целью оптимизации их параметров описываются в статьях [8–10]. В работах [11–13] представлена теоретическая модель прохождения звука через сэндвич-панели с воздушными промежутками между облицовками и средним слоем.

В данной статье прохождение звука через многослойные ограждения конечных размеров с учетом резонансной и инерционной составляющих рассмотрено на базе теории самосогласования волновых полей [14–15]. Резонансное прохождение звука через ограждение происходит в режиме собственных колебаний и зависит от степени самосогласования собственного волнового поля со звуковыми полями в воздухе с обеих сторон ограждения. Инерционное прохождение звука происходит в режиме вынужденных колебаний и зависит только от массы и геометрических размеров ограждения. Звукоизоляция ограждающих конструкций определяется по формуле [14]:

$$R = 10 \lg \left( \frac{1}{\tau_r + \tau_i} \right), \quad (1)$$

где  $\tau_r$  – коэффициент резонансного прохождения звука;  $\tau_i$  – коэффициент инерционного прохождения звука.

Коэффициент прохождения звука для данного типа ограждений определяется по формуле [14]:

$$\tau = \tau_{er} + \tau_e + \tau_{1r} \tau_{2r} + \tau_{1i} \tau_{2i}, \quad (2)$$

где индекс «e» означает прохождение звука через внешние облицовки с упругой связью между ними; индекс  $r$  – резонансное прохождение звука; индекс  $i$  – инерционное прохождение звука; индексы 1, 2 – порядковые номера внешних облицовок сэндвич-панели.

При резонансном прохождении звука через сэндвич-панель как конструктивную систему в целом коэффициент прохождения звука определяется по формуле [14]:

$$\tau_{er} = \frac{1}{\frac{6,8 \mu^2 f^2}{c_b^2 A^2} \left( \frac{f^2}{f_r^2} - 1 \right)^2 + 1}, \quad (3)$$

где  $\mu$  – поверхностная плотность сэндвич-панели, кг/м<sup>2</sup>;  $f$  – текущая частота звука, Гц;  $A$  – характеристика самосогласования волновых полей;  $c_b$  – скорость распространения бегущей изгибной волны, м/с;  $f_r$  – резонансная частота системы масса – упругость – масса сэндвич-панели, Гц.

Коэффициент инерционного прохождения звука через облицовки с упругой связью между ними определяется по формуле [14]:

$$\tau_{ei} = \frac{1}{\frac{6,8 \mu^2 f^2}{c_b F_{1i}^2} \left( \frac{f^2}{f_r^2} - 1 \right)^2 + 1}, \quad (4)$$

где  $F_{1i}$  – функция отклика первой облицовки, на которую падает звук.

В частотной области неполных пространственных резонансов ( $f_{bmn0} < f < f_{bmn}$ ) коэффициенты резонансного прохождения звука через облицовки определяются по формулам [14]:

$$\tau_{1r} = \frac{1}{\frac{10^{-5}}{A^4} \mu_1^2 f^2 \eta_1 + 1}; \quad (5)$$

$$\tau_{2r} = \frac{1}{\frac{3,1}{c_b^2 A^4} \mu_2^2 f^2 \eta_2 \cos^2 \theta_2 + 1}, \quad (6)$$

где  $\eta_1, \eta_2$  – коэффициенты потерь материала облицовок;  $\mu_1, \mu_2$  – поверхностные плотности облицовок, кг/м<sup>2</sup>;  $\theta_2$  – угол падения звуковых волн на вторую облицовку, град.

Коэффициенты инерционного прохождения звука через первую и вторую облицовки определяются по формулам [16]:

$$\tau_{1i} = \frac{1}{\frac{2 \cdot 10^{-5} \mu_1^2 f^2}{F_{1i}^2} + 1}; \quad (7)$$

$$\tau_{2i} = \frac{1}{\frac{6,8 \mu_2^2 f^2 \cos^2 \theta_2}{c_b F_{2i}^2} + 1}, \quad (8)$$

где  $F_{2i}$  – функция отклика второй облицовки.

Когда основной вклад в излучение звука вносят инерционные волны ( $\tau_r=0$ ), формула (1) приобретает вид [16]:

$$R_{\max} = 10 \log \left( \left[ \frac{2 \cdot 10^{-5} \mu_1^2 f^2}{F_{1i}^2} + 1 \right] \left[ \frac{6 \cdot 10^{-5} \mu_2^2 f^2 \cos^2 \theta_2}{F_{2i}^2} + 1 \right] \right), \quad (9)$$

где  $\mu_1, \mu_2$  – поверхностные плотности облицовок, кг/м<sup>2</sup>;  $f$  – текущая частота звука, Гц;  $F_{1i}$  – функция отклика первой облицовки, на которую падает звук;  $F_{2i}$  – функция отклика второй облицовки;  $\theta_2$  – угол падения звуковых волн на вторую облицовку, град.

Формула (9) является выражением для определения предельной звукоизоляции сэндвич-панелей конечных геометрических размеров. Она не может быть превышена для ограждения с заданными значениями поверхностной плотности ( $\mu$ ) и геометрических размеров: длина ( $a$ ), высота ( $b$ ).

На рис. 1 приведены обобщенные частотные характеристики собственной и предельной звукоизоляции сэндвич-панели. Здесь  $f_{bmn0}$  – граничная частота области неполных пространственных резонансов (НПР);  $f_{bmn}$  – граничная частота области полных пространственных резонансов (ППР);  $f_r$  – резонансная частота системы масса – упругость – масса.

Заштрихованная область обозначает резервы повышения звукоизоляции для сэндвич-панелей. Можно видеть, что звукоизоляция значительно снижается в области НПР вблизи резонансной частоты системы масса – упругость – масса ( $f_r$ ). Для сэндвич-панелей толщиной 50–200 мм, применяемых в строительстве, это соответствует диапазону средних и высоких частот ( $f=315$ –800 Гц). Также снижение звукоизоляции отмечается вблизи граничной частоты области ППР облицовок ( $f_{bmn}$ ). Таким образом, основные резервы повышения звукоизоляции для сэндвич-панелей расположены вблизи резонансных частот  $f_r$  и  $f_{bmn}$ .

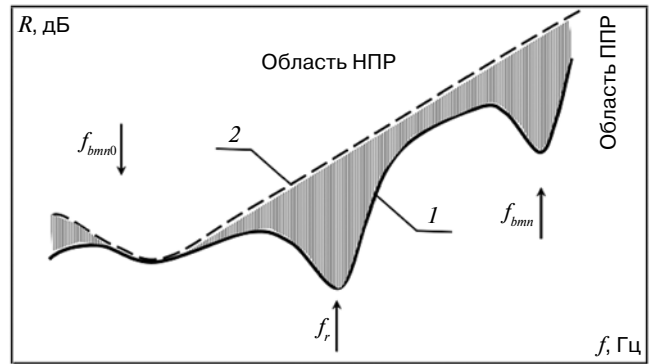


Рис. 1. Обобщенные частотные характеристики звукоизоляции сэндвич-панели: 1 – собственная звукоизоляция; 2 – предельная звукоизоляция

Fig. 1. The generalized frequency characteristics of sound insulation of a sandwich panel: 1 – own sound insulation; 2 – maximum sound insulation

По результатам проведенных теоретических исследований определены способы повышения звукоизоляции сэндвич-панелей с заданными геометрическими размерами (длина, высота) (рис. 2). Наиболее эффективным способом снижения резонансного прохождения звука через данный тип ограждений (рис. 3) является акустическое разобщение облицовок и среднего слоя [16–17].

Объектом исследования является сэндвич-панель с присоединенными внешними облицовками (рис. 3 б, г). Присоединенные облицовки позволяют увеличить суммарную поверхностную плотность облицовок сэндвич-панели и таким образом сместить резонансную частоту системы масса – упругость – масса ( $f_r$ ) в диапазон более низких частот. При этом резонансное и инерционное прохождение звука уменьшается в широкой области НПР. Данный способ показан графически на рис. 2 – утолщенными линиями и заливкой.

Использование присоединенных облицовок является более эффективным способом снижения резонансного прохождения звука по сравнению с

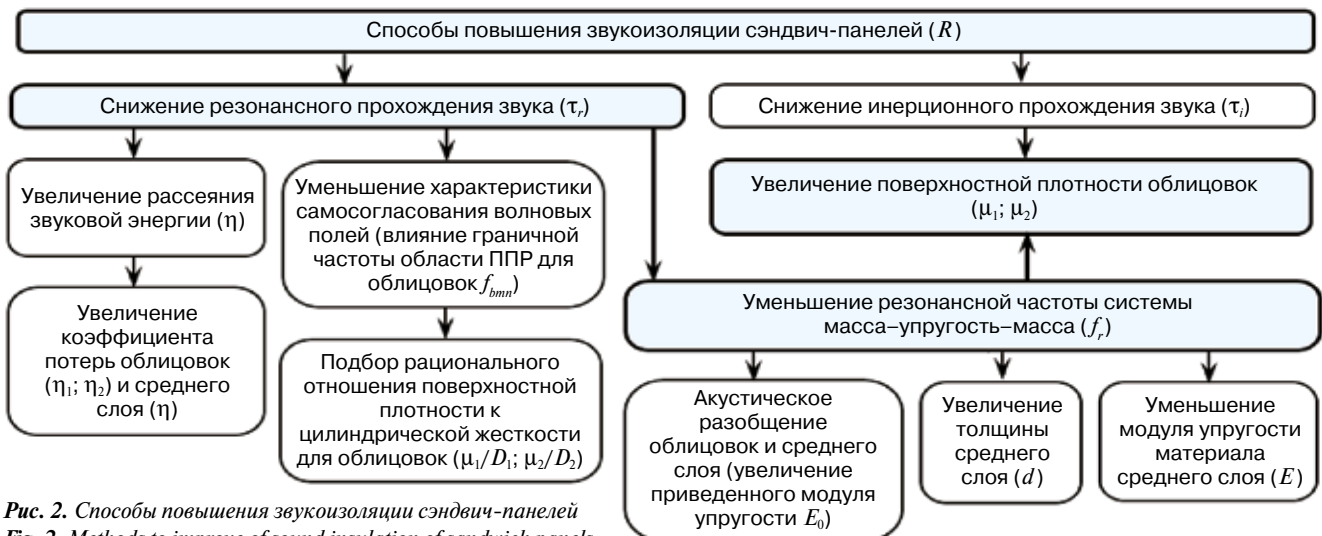
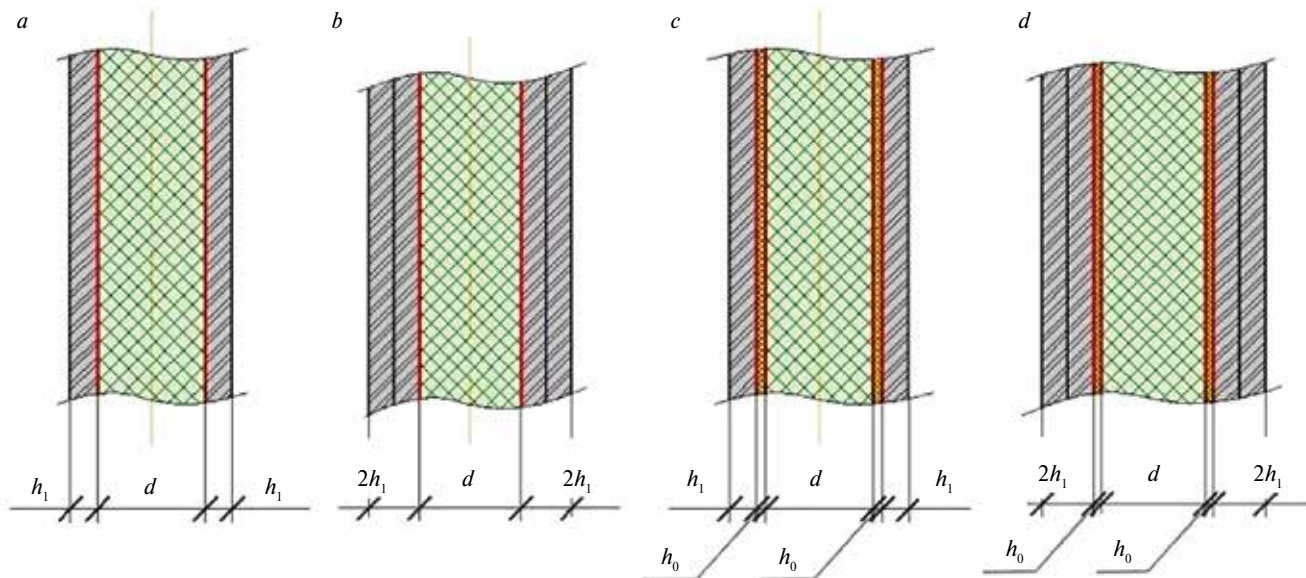
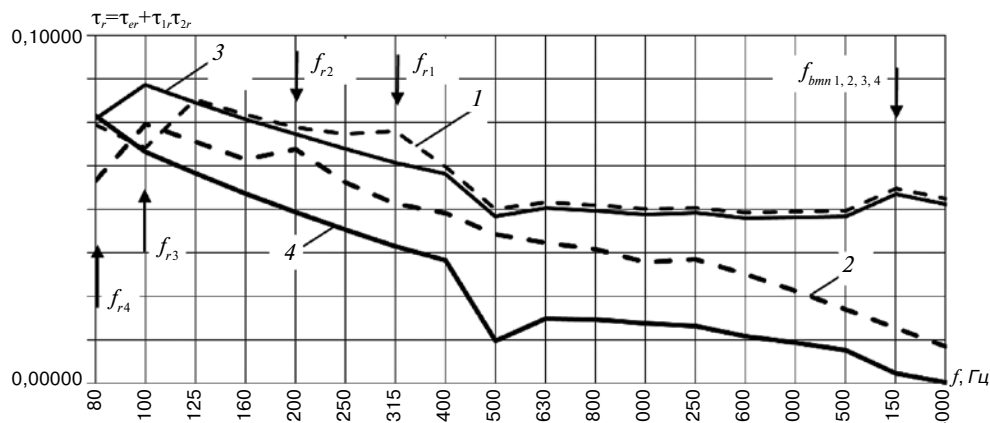


Рис. 2. Способы повышения звукоизоляции сэндвич-панелей  
Fig. 2. Methods to improve of sound insulation of sandwich panels



**Рис. 3.** Схемы исследуемых сэндвич-панелей: а – сэндвич-панель со склейкой облицовок и среднего слоя; б – сэндвич-панель со склейкой облицовок и среднего слоя с присоединенными внешними облицовками; с – сэндвич-панель с акустическим разобщением облицовок и среднего слоя; д – сэндвич-панель с акустическим разобщением облицовок и среднего слоя с присоединенными внешними облицовками  
**Fig. 3.** Schemes of the studied sandwich panels: a – sandwich panel with gluing claddings and middle layer; b – sandwich panel with gluing claddings and the middle layer with additional claddings; c – sandwich panel with acoustic separation of claddings and middle layer; d – sandwich panel with acoustic separation of claddings and middle layer with additional claddings



**Рис. 4.** Частотные характеристики коэффициентов резонансного прохождения звука: 1 – для сэндвич-панели со склейкой облицовок и среднего слоя; 2 – для сэндвич-панели со склейкой облицовок и среднего слоя с присоединенными внешними облицовками; 3 – для сэндвич-панели с акустическим разобщением облицовок и среднего слоя; 4 – для сэндвич-панели с акустическим разобщением облицовок и среднего слоя с присоединенными внешними облицовками  
**Fig. 4.** Frequency characteristics of coefficients of resonance transmission of sound: 1 – for sandwich panel with gluing claddings and middle layer; 2 – for sandwich panel with gluing claddings and middle layer with additional claddings; 3 – for sandwich panel with acoustic separation of claddings and middle layer; 4 – for sandwich panel with acoustic separation of claddings and middle layer with additional claddings

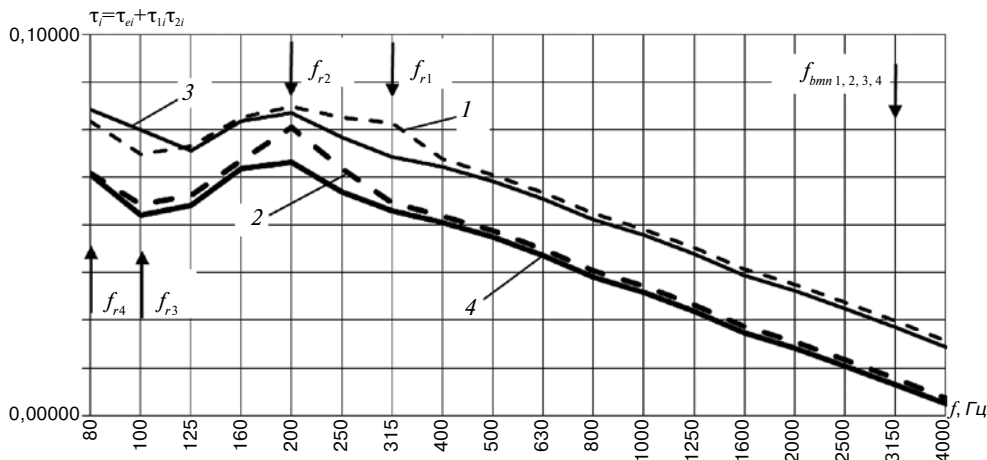
увеличением толщины базовых облицовок сэндвич-панели, так как отношение поверхностной плотности к цилиндрической жесткости ( $\mu_1/D_1; \mu_2/D_2$ ) не изменяется и соответственно не происходит смещение граничной частоты области ППР в диапазон более низких частот ( $f_{bmn} = \text{const}$ ).

На рис. 4, 5 приведены частотные характеристики коэффициентов резонансного и инерционного прохождения звука для исследуемых сэндвич-панелей. Расчеты проведены по формулам (3–8).

Экспериментальные исследования по определению собственной звукоизоляции сэндвич-панелей

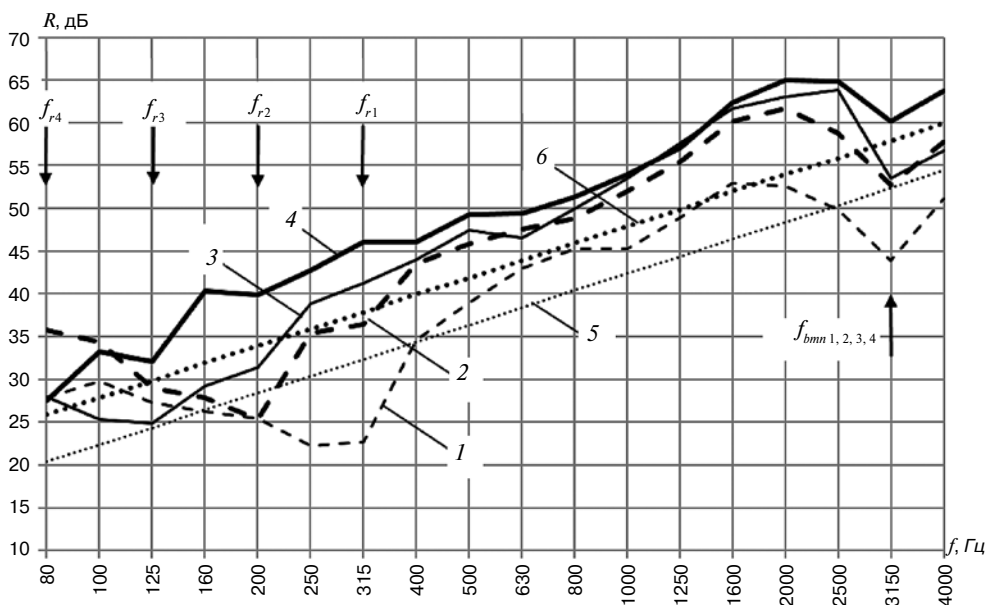
проведены в реверберационных камерах лаборатории акустики Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. Измерения звукоизоляции при воздействии диффузного звукового поля выполнены по стандартной методике ГОСТ 27296–2012 «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций».

В качестве листовых облицовок использовались гипсоволокнистые листы ( $h_1=12,5$  мм;  $\rho=1150$  кг/м<sup>3</sup>). Средний слой изготавливался из минеральной ваты ( $d=50$  мм;  $\rho=25$  кг/м<sup>3</sup>). Акустическое разобщение выполнено в виде сплошного слоя упругого материала



**Рис. 5.** Частотные характеристики коэффициентов инерционного прохождения звука: 1 – для сэндвич-панели со склейкой облицовок и среднего слоя; 2 – для сэндвич-панели со склейкой облицовок и среднего слоя с присоединенными внешними облицовками; 3 – для сэндвич-панели с акустическим разобщением облицовок и среднего слоя; 4 – для сэндвич-панели с акустическим разобщением облицовок и среднего слоя с присоединенными внешними облицовками

**Fig. 5.** Frequency characteristics of coefficients of inertial transmission of sound: 1 – for sandwich panel with gluing claddings and middle layer; 2 – for sandwich panel with gluing claddings and middle layer with additional claddings; 3 – for sandwich panel with acoustic separation of claddings and middle layer; 4 – for sandwich panel with acoustic separation of claddings and middle layer with additional claddings



**Рис. 6.** Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции сэндвич-панелей (размеры образцов  $a \times b = 2 \times 1,2$  м): 1 – для сэндвич-панели со склейкой облицовок и среднего слоя; 2 – для сэндвич-панели со склейкой облицовок и среднего слоя с присоединенными внешними облицовками; 3 – для сэндвич-панели с акустическим разобщением облицовок и среднего слоя; 4 – для сэндвич-панели с акустическим разобщением облицовок и среднего слоя с присоединенными внешними облицовками; 5 – закон массы для сэндвич-панелей без присоединенных внешних облицовок; 6 – закон массы для сэндвич-панелей с присоединенными внешними облицовками

**Fig. 6.** Experimental frequency characteristics of sound insulation of sandwich panels (sample dimensions  $a \times b = 2 \times 1.2$  m): 1 – for sandwich panel with gluing claddings and middle layer; 2 – for sandwich panel with gluing claddings and middle layer with additional claddings; 3 – for sandwich panel with acoustic separation of claddings and middle layer; 4 – for sandwich panel with acoustic separation of claddings and middle layer with additional claddings; 5 – mass law for sandwich panels without additional claddings; 6 – mass law for sandwich panels with additional claddings

из полиэфирных волокон ( $h_0=4$  мм;  $\rho=75$  кг/м<sup>3</sup>). Облицовки, средний слой и слои акустического разобщения склеивались между собой полимерным клеем. Присоединенные внешние листовые облицовки из гипсоволокнистых листов ( $h_1=12,5$  мм;  $\rho=1150$  кг/м<sup>3</sup>) закреплялись к базовым листовым облицовкам сэндвич-панелей при помощи стальных саморезов с шагом 300 мм.

На рис. 6 приведены результаты проведенных измерений. Анализируя данные результаты, можно видеть, что присоединенные облицовки позволяют повысить звукоизоляцию во всем нормируемом диапазоне частот 100–3150 Гц. Для сэндвич-панели без акустического разобщения слоев резонансная частота системы масса – упругость – масса смещается с частоты  $f_{r1}=315$  Гц на частоту  $f_{r2}=200$  Гц. Для сэндвич-

панели с акустическим разобщением слоев резонансная частота смещается с частоты  $f_{r3}=125$  Гц и выходит за нижнюю границу нормируемого диапазона частот.

Сравнение кривых 2 и 4 показывает высокую эффективность применения присоединенных облицовок для сэндвич-панелей с акустическим разобщением слоев.

Использование присоединенных облицовок сэндвич-панелей позволило увеличить индекс изоляции воздушного шума на 7 дБ – с  $R_w=39$  дБ до  $R_w=46$  дБ (для образцов без акустического разобщения слоев). Для образцов с акустическим разобщением слоев повышение индекса изоляции воздушного шума составило 5 дБ – с  $R_w=47$  дБ до  $R_w=52$  дБ.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– присоединенные внешние облицовки являются эффективным способом снижения резонансного и инерционного прохождения звука через сэндвич-панели за счет уменьшения резонансной частоты системы масса – упругость – масса;

– наибольшее повышение звукоизоляции обеспечивается при совместном использовании акустического разобщения слоев сэндвич-панели и присоединенных облицовок;

– присоединенные облицовки обеспечивают высокие значения собственной звукоизоляции сэндвич-панелей без значительного увеличения их толщины, что имеет большое значение для практики строительства.

### Список литературы / References

1. Kurtze G. Bending wave propagation in multilayer plates. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1959. Vol. 31, No. 9, pp. 1183–1201.
2. Dym C.L., Lang M.A. Transmission of sound through sandwich panels. *Journal of Acoustical Society of America*. 1974. Vol. 56, No. 5, pp. 1525–1532.
3. Moore J.A., Lyon R.H. Sound transmission loss characteristics of sandwich panel constructions. *Journal of Acoustical Society of America*. 1991. Vol. 89, pp. 777–791.
4. Bolton J.S., Shlau N.M., Kang Y.J. Sound transmission through multi-panel structures lined with elastic porous material. *Journal of Sound and Vibration*. 1996. Vol. 191, 3, pp. 317–347.
5. Lang M. A., Dym C. L. Optimal acoustic design of sandwich panels. Part 2. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1975. Vol. 57, No. 6, pp. 1481–1487.
6. Dijkmans A., Vermeir G. Optimization of the acoustic performances of lightweight sandwich roof elements. *Proceedings of «INTER-NOISE-2009»*, Ottawa, Canada. 2009, pp. 23–26.
7. Заборов В.И., Клячко Л.Н., Новиков И.И. О звукоизоляции трехслойными конструкциями // *Акустический журнал*. 1984. Т. XXX. Вып. 4. С. 482–485.
7. Zaborov V.I., Klyachko L.N., Novikov I.I. O zvukoizolyatsii trekhslainnymi kon-struktsiyami. *Akusticheskii zhurnal*. 1984. Vol. XXX, No. 4, pp. 482–485. (In Russian).
8. Thamburaj P., Sun J.Q., Optimization of Anisotropic Sandwich Beams for Higher Sound Transmission Loss. *Journal of Sound and Vibration*. 2001. Vol. 254, pp. 23–36.
9. Wawrzynowicz A., Krzaczek M., Tejchman J. Experiments and FE analyses on airborne sound properties of composite structural insulated panels. *Archives of acoustics*. 2014. Vol. 39, No. 3, pp. 351–364.
10. Hwang S., Kim J., Lee S., Kwun H. Prediction of sound reduction index of double sandwich panel. *Applied Acoustics*. 2015. Vol. 93, pp. 44–50.
11. Liu Y., Sebastian A. Effects of external and gap mean flows on sound transmission through a double-wall sandwich panel. *Journal of Sound and Vibration*. 2015. Vol. 344, pp. 399–415.
12. Liu Y., Catalan J.-C. External mean flow influence on sound transmission through finite clamped double-wall sandwich panels. *Journal of Sound and Vibration*. 2017. Vol. 405, pp. 269–286.
13. Liu Y., Catalan J.-C. Effects of external and air gap flows on sound transmission through finite clamped double-panel sandwich structures. *Composite Structures*. 2018. Vol. 203, pp. 286–299.
14. Седов М.С. Звукоизоляция. В кн.: Техническая акустика транспортных машин: Справочник / Под ред. Н.И. Иванова. СПб.: Политехника, 1992. С. 68–106.
14. Sedov M.S. Zvukoizolyatsiya. V kn.: Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin, spravochnik. Pod red. N.I. Ivanova [Sound insulation. In the book: Technical Acoustics of Transport Machines, Handbook, Edited by N.I. Ivanov]. Saint Petersburg: Politekhnik. 1992, pp. 68–106.
15. Sedov M.S. Effect of breaking free waves in thin plates of double construction: *Proceedings of Fourth international congress on sound and vibration*, edited by M.J. Crocker and N.I. Ivanov. Saint Petersburg. 1996, pp. 1073–1076.
16. Гребнев П.А. Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий из сэндвич-панелей. Дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2016. 186 с.
16. Grebnev P.A. Sound insulation of building enclosures from sandwich panels. Cand. Diss. (Engineering). Nizhny Novgorod. 2016. 186 p. (In Russian).
17. Boblyov V.N., Tishkov V.A., Monich D.V., Dymchenko V.V., Grebnev P.A. Experimental study of sound insulation in multilayer enclosing structures. *Noise Control Engineering Journal*. 2014. Vol. 62, 5, pp. 354–359.

УДК 534.833.522.4

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-14-18>

Н.А. КОЧКИН<sup>1</sup>, инженер-строитель (vol.nikit@inbox.ru);  
И.Л. ШУБИН<sup>2</sup>, член-корр. РААСН, д-р техн. наук, директор (niisf@niisf.ru);  
А.А. КОЧКИН<sup>1</sup>, д-р техн. наук (aakochkin@mail.ru)

<sup>1</sup> Вологодский государственный университет (160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15)

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Влияние конструкции гибкой плиты на отнoсе на повышение звукоизоляции существующих ограждений

*При эксплуатации, реконструкции, капитальном ремонте зданий может возникать необходимость повысить звукоизоляцию существующих ограждений до действующих нормативных значений. Одним из способов повышения звукоизоляции является устройство гибкой плиты на отнoсе ограждающей конструкции. На звукоизоляцию такой конструкции влияют различные факторы. В работе экспериментально исследуются влияние гибкой плиты на отнoсе из различных листовых материалов (гипсокартонных листов, цементно-стружечных и ориентированно-стружечных плит) различной толщины, соединенных «насухо», и в виде слоистых вибродемпфированных элементов с воздушным зазором и заполнением его звукопоглощающим материалом. Показана акустическая эффективность исследуемых конструктивных решений при основной конструкции из гипсовых пазогребневых блоков и оштукатуренной кирпичной перегородки. Отмечено влияние на звукоизоляцию: поверхностных плотностей основной конструкции и гибкой плиты на отнoсе; наличия воздушного зазора и заполнения его звукопоглощающим материалом; способа соединения слоев в конструкции гибкой плиты на отнoсе в виде листов, соединенных «насухо», и в виде слоистых вибродемпфированных элементов из различных листовых материалов. Установлено, что соотношение поверхностных плотностей основной конструкции и гибких плит на отнoсе значительно влияет на величину дополнительной звукоизоляции. При увеличении поверхностной плотности гибкой плиты на отнoсе при неизменной основной конструкции дополнительная звукоизоляция увеличивается. Показано, что использование гибких плит на отнoсе в виде слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с листами, соединенными «насухо», повышает звукоизоляцию на 2–3 дБ. При повышении поверхностной плотности основной конструкции влияние вибропоглощения снижается.*

**Ключевые слова:** звукоизоляция, дополнительная звукоизоляция, существующее ограждение, гибкие плиты на отнoсе, воздушный зазор, звукопоглощающий материал, слоистый вибродемпфированный элемент, точечные виброизолированные связи.

**Для цитирования:** Кочкин Н.А., Шубин И.Л., Кочкин А.А. Влияние конструкции гибкой плиты на отнoсе на повышение звукоизоляции существующих ограждений // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 14–18.  
DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-14-18>

N.A. KOCHKIN<sup>1</sup>, Civil Engineer (senior lecturer)(vol.nikit@inbox.ru);  
I.L. SHUBIN<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Correspondent member of RAACS, Director(niisf@niisf.ru);  
A.A. KOCHKIN<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Docent(aakochkin@mail.ru)  
<sup>1</sup> Vologda State University (15, Lenin Street, Vologda, 160000, Russian Federation)  
<sup>2</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Influence of the Flexible Plate with a Space Structure on the Sound Insulation Improvement

During operation, reconstruction, and overhaul of buildings, it may be necessary to increase the sound insulation of existing fences to current regulatory values. One of the ways to improve sound insulation is the installation of a flexible plate with respect to the building envelope. Sound insulation of this design is influenced by various factors. In this work, we study experimentally the effect of a flexible plate on a relate of various sheet materials (gypsum board, cement particle board, oriented strand board) of various thicknesses, connected «dry» and in the form of layered vibration damped elements, with an air gap and filling it with sound-absorbing material. The acoustic efficiency of the studied structural solutions for the main structure of gypsum tongue-and-groove blocks and a plastered brick partition is shown. The effect on sound insulation is noted: surface density characteristics; there is an air gap and sound accompaniment; methods of connecting layers in the construction of flexible plates in the form of sheets, connecting «dry» and in the form of layered vibration damped elements



from various sheet materials. It has been established that the ratio of the surface densities of the main structure and the flexible slabs on the relate significantly affects the amount of additional sound insulation, with an increase in the surface density of the flexible slab on the base with the invariable main structure, the additional sound insulation increases. It is shown that the use of flexible slabs in the relative form in the form of layered vibrodamped elements compared with sheets connected «dry» increase the sound insulation by 2–3 dB. With an increase in the surface density of the main structure, the effect of vibration absorption decreases.

**Keywords:** soundproofing, additional soundproofing, existing fencing, flexible plate with a space, air gap, sound-absorbing material, layered vibrodamped element, point vibration-insulated connections.

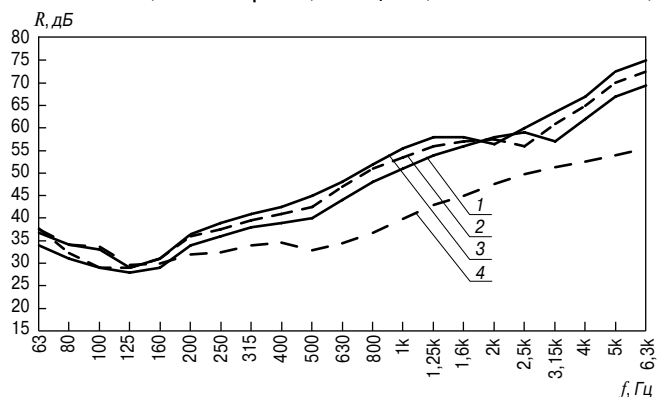
**For citation:** Kochkin N.A., Shubin I.L., Kochkin A.A. Influence of the flexible plate with a space structure on the sound insulation improvement. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 7, pp. 14–18. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-14-18>

Для создания комфортной звуковой среды в зданиях необходимо обеспечивать выполнение нормативных значений индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями. При реконструкции, капитальном ремонте зданий, в новом строительстве в случае несоответствия индекса изоляции воздушного шума действующим нормам необходимо повышать звукоизоляцию существующих ограждающих конструкций. Для этого используют различные способы: увеличение толщины перегородки (приводит к увеличению нагрузки на перекрытия и фундаменты); устройство такой же перегородки на некотором расстоянии, например 50 мм (приводит дополнительно к снижению площади помещения); устройство гибких плит на основе существующей перегородки (в настоящее время этот способ наиболее практичный и экономичный).

На повышение звукоизоляции существующих ограждений гибкими плитами на основе влияют собственная звукоизоляция ограждающей конструкции, толщина воздушного зазора (ВЗ) и его заполнение звукопоглощающим материалом (ЗПМ), конструкции гибких плит, их материал, толщина, количество слоев,

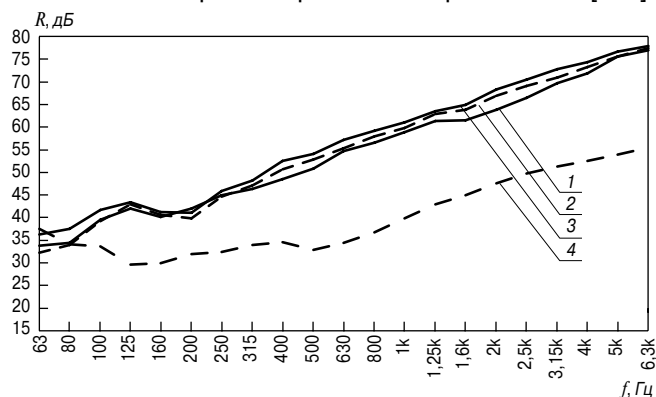
наличие клеенного между слоями вибропоглощающего материала (ВПМ), способы соединения гибкой плиты на основе к основной конструкции. Исследование звукоизоляции ограждающих конструкций и пути ее повышения показаны в [1–3], где рассматриваются вопросы структурной (косвенной) передачи звука, звукоизоляция ограждений с присоединенными элементами. Исследование влияния толщины и формы звукопоглощающего материала при заполнении воздушного зазора показано в [4, 5], где отмечено, что с увеличением толщины звукопоглощающего материала звукоизоляция повышается, ее наибольший рост происходит при начальном увеличении толщины звукопоглощающего материала. При последующем ее увеличении рост звукоизоляции замедляется. Заполнение воздушного зазора звукопоглощающим материалом может быть неполным, с наличием воздуха и звукопоглощающим материалом с неплоской увеличенной площадью звукопоглощения.

Существенное влияние на повышение звукоизоляции ограждения оказывают способы соединения ее с гибкой плитой на основе с точечным и линейным, жестким и виброизолированным креплением [6–9].



**Рис. 1.** Частотные характеристики звукоизоляции гипсовых блоков с гибкими плитами на основе, состоящими из двух листов ориентированно-стружечных плит (ОСП), соединенных «насухо», в зависимости от толщины ОСП; расстояние между плитой и блоками 50 мм: 1 – толщина 9 мм,  $R_w=46$  дБ; 2 – толщина 12 мм,  $R_w=48$  дБ; 3 – толщина 15 мм,  $R_w=49$  дБ; 4 – гипсовая плита 80 мм,  $R_w=40$  дБ

**Fig. 1.** Frequency characteristics of sound insulation of gypsum blocks with flexible plate to apply, consisting of two sheets of oriented strand board (OSB) connected «dry», depending on the thickness of the OSB. The distance between the boards and the blocks is 50 mm: 1 – thickness 9 mm,  $R_w=46$  dB; 2 – thickness 12 mm,  $R_w=48$  dB; 3 – thickness 15 mm,  $R_w=49$  dB; 4 – gypsum blocks 80 mm,  $R_w=40$  dB



**Рис. 2.** Частотные характеристики звукоизоляции гипсовых блоков с гибкими плитами на основе из слоистых вибродемпфированных элементов (СВДЭ) состоящих из двух листов цементно-стружечных плит (ЦСП) склеенных ВПМ. В зависимости от толщины листов ЦСП, между плитой и блоками расположен ЗПМ 50 мм: 1 – толщина 10 мм,  $R_w=56$  дБ; 2 – толщина 12 мм,  $R_w=56$  дБ; 3 – толщина 16 мм,  $R_w=57$  дБ; 4 – гипсовая плита 80 мм,  $R_w=40$  дБ

**Fig. 2.** Frequency characteristics of sound insulation of gypsum blocks with flexible plate to apply on layered vibrodamped elements consisting of two sheets of cement particle board glued with vibration-absorbing material Accent 117. Depending on the thickness of the cement particle boards, there is a sound-absorbing material 50 mm thick between the boards and the blocks: 1 – thickness 10 mm,  $R_w=56$  dB; 2 – thickness 12 mm,  $R_w=56$  dB; 3 – thickness 16 mm,  $R_w=57$  dB; 4 – gypsum blocks 80 mm,  $R_w=40$  dB

**Индекс изоляции воздушного шума ограждающих конструкций из гипсовых плит  $R_w = 40$  дБ, с гибкой плитой на отnose**  
**Airborne noise insulation indices walling of gypsum blocks,  $R_w = 40$  dB, with a flexible plate to apply**

Материал гибких плит	Толщина листа, мм	Поверхностная плотность гибкой плиты на отnose, кг/м <sup>2</sup>	Вид заполнения воздушного зазора (ВЗ)	Индекс изоляции воздушного шума $R_w$ , дБ, для конструкции с гибкими плитами на отnose (ГПО)		Дополнительная звукоизоляция при устройстве гибких плит на отnose, дБ	
				ГПО соединены «насухо»	ГПО из СВДЭ	ГПО соединены «насухо»	ГПО из СВДЭ
ОСП	9	11,8	ВЗ	46	48	6	8
			ЗПМ	51	52	11	12
	12	16,2	ВЗ	48	51	8	11
			ЗПМ	53	54	13	14
	15	19,8	ВЗ	49	53	9	13
			ЗПМ	54	55	14	15
ГКЛ	12,5	17,6	ВЗ	49	52	9	12
			ЗПМ	54	55	14	15
ЦСП	10	26,8	ВЗ	51	54	11	14
			ЗПМ	55	56	15	16
	12	30,1	ВЗ	51	54	11	14
			ЗПМ	55	56	15	16
	16	44,1	ВЗ	52	55	12	15
			ЗПМ	56	57	16	17

Авторы исследуют звукоизоляцию при связях между основной конструкцией и гибкой плитой на отnose. Для практического использования рекомендуются точечные виброизолированные связи.

Гибкие плиты на отnose состоят, как правило, из двух слоев гипсоволокнистых (ГВЛ) или гипсокартонных (ГКЛ) листов, соединенных «насухо». Известно, что использование между листами вибропоглощающего материала приводит к повышению звукоизоляции ограждения, в том числе с гибкими плитами на отnose [10–14]. Для широкого практического использования новых вибропоглощающих материалов и тонких листовых ориентированно-стружечных плит (ОСП), цементно-стружечных плит (ЦСП) и других материалов необходимо знать их динамические характеристики (модуль упругости и коэффициент потерь) [15].

В работе экспериментально исследуется звукоизоляция ограждающих конструкций с гибкими плитами на отnose из различных материалов, соединенных «насухо» или вибропоглощающим материалом, а также с воздушным зазором между гибкой плитой и основной конструкцией или заполнением зазора звукопоглощающим материалом. В качестве основной конструкции исследуются гипсовые пазогребневые блоки толщиной 80 мм, плотностью 1100 кг/м<sup>3</sup>, а также кирпичная оштукатуренная перегородка толщиной 95 мм, плотностью 1900 кг/м<sup>3</sup>. Гибкие плиты на отnose выполнялись из ОСП толщиной 9, 12, 15 мм; ЦСП толщиной 10, 12, 16 мм; ГКЛ толщиной 12,5 мм. Исследования проводили как с воздушным зазором толщиной 50 мм, так и с заполнением его звукопоглощающим материалом.

Некоторые результаты экспериментальных исследований в виде частотных характеристик звукоизоляции представлены на рис. 1, 2.

Влияние материала гибких плит на отnose на индекс изоляции воздушного шума ограждения при основной конструкции из пазогребневых гипсовых плит показано в таблице.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- соотношение поверхностных плотностей основной конструкции и гибких плит на отnose значительно влияет на величину дополнительной звукоизоляции; при увеличении поверхностной плотности гибкой плиты на отnose при неизменной основной конструкции дополнительная звукоизоляция увеличивается;

- при основной конструкции из гипсовых плит и воздушном зазоре дополнительная звукоизоляция равна 6–15 дБ, при заполнении воздушного зазора звукопоглощающим материалом дополнительная звукоизоляция равна 11–17 дБ;

- при основной конструкции в виде кирпичной оштукатуренной перегородки с большей поверхностной плотностью повышение дополнительной звукоизоляции меньше и составляет при воздушном зазоре 6–9 дБ, при заполнении его звукопоглощающим материалом 8–10 дБ;

- устройство гибкой плиты на отnose наиболее эффективно при легких ограждающих конструкциях, при увеличении поверхностной плотности основной конструкции их эффективность снижается;

- использование гибкой плиты на отnose из слоистых вибродемпфированных элементов (СВДЭ) по сравнению с листами, соединенными «насухо», повышает звукоизоляцию на 2–3 дБ. При увеличении поверхностной плотности основной конструкции влияние вибропоглощения гибкой плиты на отnose снижается.

## Список литературы

1. Лелюга О.В., Овсянников С.Н., Шубин И.Л. Исследование звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций с учетом структурной звукопередачи // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. № 7 (1007). С. 39–43.
2. Лелюга О.В., Овсянников С.Н., Сухов В.Н. Экспериментальная оценка точности метода СЭА при акустическом возбуждении // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2019. № 6 (1018). С. 10–12.
3. Бобылев В.Н., Монич Д.В., Гребнев П.А., Попов С.Р. Исследования звукоизоляции ограждающих конструкций с присоединенными элементами // *Приволжский научный журнал*. 2019. № 3 (51). С. 13–17.
4. Кочкин Н.А., Шубин И.Л., Кочкин А.А. Исследование повышения звукоизоляции существующих ограждений с использованием слоистых вибродемпфированных элементов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2019. № 3 (381). С. 215–219.
5. Кочкин А.А., Киряткова А.В., Шашкова Л.Э., Шубин И.Л. О способе повышения звукоизоляции двойных ограждающих конструкций // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2019. № 6 (1018). С. 6–7.
6. Кочкин Н.А., Шубин И.Л. Исследование влияния способов соединения гибкой плиты на отnose на звукоизоляции ограждений при реконструкции зданий // *Жилищное строительство*. 2019. № 7. С. 9–15. DOI: 10.31659/0044-4472-2019-7-9-15
7. Бобылев В.Н., Дымченко В.В., Ерофеев В.И., Монич Д.В., Хазов П.А. Анализ влияния типа стоечного профиля на звукоизоляцию каркасно-обшивной перегородки с одинарным каркасом путем конечно-элементного моделирования // *Приволжский научный журнал*. 2019. № 4 (52). С. 18–22.
8. Бобылев В.Н., Дымченко В.В., Монич Д.В., Хазов П.А. Численное моделирование звукоизолирующих каркасно-обшивных перегородок с различными типами стоечных профилей // *Приволжский научный журнал*. 2018. № 1 (45). С. 20–24.
9. Пороженко М.А., Минаева Н.А., Сухов В.Н. Оценка изоляции воздушного шума стеной с гибкой плитой на отnose // *Жилищное строительство*. 2016. № 7. С. 54–56.
10. Патент РФ на полезную модель RU 186418 U1. *Звукоизолирующая конструкция со слоистым вибропоглощающим элементом на отnose* / Кочкин А.А., Матвеева И.В., Кочкин Н.А., Киряткова А.В. Заявл. 08.06.2018. Оpubл. 21.01.2019. Бюл. 3.
11. Кочкин А.А., Шубин И.Л. Исследование слоистых вибродемпфированных элементов и конструкций из них для снижения шума // *Известия высших*

## References

1. Lelyuga O.V., Ovsyannikov S.N., Shubin I.L. Researches of sound insulation of internal enclosing structures with regard to structural sound transmission. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2018. No. 7 (1007), pp. 39–43. (In Russian).
2. Lelyuga O.V., Ovsyannikov S.N., Sukhov V.N. Noise of mechanical ventilation systems in residential buildings. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2019. No. 6 (1018), pp. 10–12. (In Russian).
3. Boblyov V.N. Monich D.V., Grebnev P.A. Popov S.R. Research of sound insulation of enclosing structures with connected elements. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2019. No. 3 (51), pp. 13–17. (In Russian).
4. Kochkin N.A., Shubin I.L., Kochkin A.A. Research of increase in sound insulation of the existing protections with use of layered vibration damped elements. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2019. No. 3 (381), pp. 215–219 (In Russian).
5. Kochkin A.A., Kiryatkova A.V., Shashkova L.E., Shubin I.L. About the method of increasing sound insulation double protective structures. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2019. No. 6 (1018), pp. 6–7. (In Russian).
6. Kochkin N.A., Shubin I.L. Study of the influence of ways of connecting the flexible plate with a space on soundproofing of enclosing structures when reconstructing buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Constructions]. 2019. No. 7, pp. 9–15. (In Russian). DOI: 10.31659/0044-4472-2019-7-9-15
7. Boblyov V.N., Dymchenko V.V., Erofeev V.I., Monich D.V., Khazov P.A. Analysis of the influence of a rack profile type on the sound insulation of a single-frame partition by finite-element modeling. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*. 2019. No. 4 (52), pp. 18–22. (In Russian).
8. Boblyov V.N., Dymchenko V.V., Monich D.V., Khazov P.A. Numerical simulation of sound-insulating framed partitions with various types of frame profiles. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2018. No. 1 (45), pp. 20–24. (In Russian).
9. Porozhenko M.A., Minaeva N.A., Sukhov V.N. Assessment of airborne sound insulation with a wall with a flexible plate to apply. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Constructions]. 2016. No. 7, pp. 54–56. (In Russian).
10. Patent RF for useful model RU 186418 U1. *Zvukoizoliruyushchaya konstruktsiya so sloistym vibropogloshchayushchim elementom na otnose* [The soundproofing design with a layered vibration-absorbing element on carrying]. Kochkin A.A., Matveeva I.V., Kochkin N.A., Kiryatkova A.V. Declared 08.06.2018. Published 21.01.2019. Bulletin No. 3. (In Russian).
11. Kochkin A.A., Shubin I.L. Investigation of layered vibrodamped elements and structures from them for noise reduction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh za-*

- учебных заведений. *Технология текстильной промышленности*. 2018. № 3 (375). С. 184–187.
12. Кочкин Н.А., Киряткова А.В. Исследование и повышение звукоизоляции двойной перегородки с использованием слоистого вибродемпфированного элемента на отnose // *В сборнике: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы 5-й Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта*. 2018. С. 182–185.
13. Шубин И.Л., Кочкин Н.А. К расчету звукоизоляции ограждения при реконструкции зданий с использованием слоистых вибродемпфированных элементов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 3 (375). С. 236–241.
14. Гусев В.П., Сидорина А.В., Антонов А.И., Леденев В.И. Расчет дополнительной звукоизоляции воздуховодов при устройстве на них многослойных облицовок // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 3 (375). С. 202–207.
15. Патент РФ на полезную модель RU 190244 U1. *Установка для исследования динамических характеристик звукоизоляционных материалов* / Овсянников С.Н., Скрипченко Д.С. Заявл. 26.10.2018. Опубл. 25.06.2019. Бюл. 18.
- vedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2018. No. 3 (375), pp. 184–187. (In Russian).
12. Kochkin N.A., Kiryatkova A.V. Research and improvement of sound insulation of a double partition using layered vibration damped elements with a space. In: *Sustainable development of the region: architecture, construction, transport. Materials of the 5th International scientific-practical conference of the Institute of architecture, construction and transport*. 2018, pp. 182–185. (In Russian).
13. Shubin I.L., Kochkin N.A. To calculation of sound insulation of the protection at reconstruction of buildings with use of layered vibrodamped elements. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2018. No. 3 (375), pp. 236–241. (In Russian).
14. Gusev V.P., Sidorina A.V., Antonov A.I., Ledenev V.I. Calculation of additional sound insulation of air ducts with multilayered lining on them. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2018. No. 3 (375), pp. 202–207. (In Russian).
15. Patent RF for useful model RU 190244 U1. *Ustanovka dlya issledovaniya dinamicheskikh kharakteristik zvukoizolyatsionnykh materialov* [Installation for studying the dynamic characteristics of soundproof materials]. Ovsyanikov S.N., Skripchenko D.S. Declared 26.10.2018. Published 25.06.2019. Bulletin No. 18. (In Russian).

23-25 сентября

ВАНХЭКСПО Уфа 2020

БВК  
БАШКИРСКАЯ  
ВЫСТАВОЧНАЯ  
КОМПАНИЯ

# ФОРУМ УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ



Специализированные выставки

**Строительство**  
**Ярмарка недвижимости**

Свяжитесь  
с нами

[www.stroybvk.ru](http://www.stroybvk.ru)  
[stroy@bvkexpo.ru](mailto:stroy@bvkexpo.ru)

**+7 (347) 246-41-80**  
**+7 (347) 241-74-19**

stroybvk

f stroyexpo.ufa

#бвк

#стройбвк

УДК 699.84

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-19-25>

Е.В. КОРКИНА<sup>1,3</sup>, канд. техн. наук (elena.v.korkina@gmail.com); Е.В. ГОРБАРЕНКО<sup>1,2</sup>, канд. геогр. наук,  
П.П. ПАСТУШКОВ<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук; М.Д. ТЮЛЕНЕВ<sup>3</sup>, инженер

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук  
(127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

<sup>2</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова (119234, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1)

<sup>3</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

## Исследование температуры нагрева поверхности фасада от солнечной радиации при различных условиях облучения

*Проведено исследование температуры поверхности стены с СФТК с учетом облучения солнечной радиацией при различных условиях облачности в течение месяца. На наружной поверхности стены смонтированы датчики температуры и проведены ее измерения, а также температуры воздуха за один месяц теплого периода года. Проведены измерения спектрального коэффициента отражения солнечной радиации поверхностью фасада, по значению которого рассчитан коэффициент поглощения. В Метеорологической обсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова проведены измерения прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность; регистрировалось также состояние облачности небосвода. Дни наблюдений разделены на три группы по условиям облачности, показаны статистически значимые различия между группами по исследуемым параметрам. С использованием экспериментальных данных проведены почасовые расчеты поступающей на фасад солнечной радиации. С использованием измеренной температуры воздуха, значений прямой и рассеянной солнечной радиации и коэффициента поглощения солнечной радиации рассчитана температура наружной поверхности стены по формуле Шкловера. Измеренные значения температуры наружной поверхности стены сопоставлены с рассчитанными. Для ясных дней или с незначительной облачностью различия достигают 1,7°, а в дни со сплошной облачностью различия практически отсутствуют. Обнаружены статистически значимые различия между измеренной и рассчитанной температурой для групп дней, разделенных по условиям облачности, для периода облучения с 10 до 17 ч, что свидетельствует о возможности рассмотрения внесения поправок в формулу Шкловера для ясных дней. Планируется провести более длительные исследования температурного режима поверхности стены.*

**Ключевые слова:** солнечная радиация, нагрев, фасад, облучение, ограждающая конструкция.

**Для цитирования:** Коркина Е.В., Горбаренко Е.В., Пастушков П.П., Тюленев М.Д. Исследование температуры нагрева поверхности фасада от солнечной радиации при различных условиях облучения // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-19-25>

E.V. KORKINA<sup>1,3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (elena.v.korkina@gmail.com); E.V. GORBARENKO<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Geography),  
P.P. PASTUSHKOV<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); M.D. TYULENEV<sup>3</sup>, Engineer

<sup>1</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (21, Lokomotivnyi Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie gori, Moscow, 119234, Russian Federation)

<sup>3</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Investigation of the Heating Temperature of the Facade Surface from Solar Radiation under Various Irradiation Conditions

In this paper, a study of the surface temperature of the FTCS-type wall was performed, considering solar radiation exposure under various cloud conditions during the month. Temperature sensors are mounted on the outer surface and its measurements are made, as well as the air temperature for one month of the warm period of the year. Measurements of the spectral coefficient of reflection of solar radiation by the facade surface were made, the value of which was used to calculate the absorption coefficient. At the Meteorological Observatory of Lomonosov Moscow State University, measurements of direct and diffuse solar radiation entering the horizontal surface were made, and the state of clouds in the sky was also recorded. The observation days are divided into three groups based on cloud conditions, and statistically significant differences between the groups are shown for the studied parameters. Using experimental data, hourly calculations of solar radiation entering the facade were performed. Using the measured air temperature, the values of direct and diffuse solar radiation, and the coefficient of absorption of solar radiation, the temperature of the outer surface of the wall is calculated using the Shklover's formula. The measured values of the external wall surface temperature are compared with the calculated values. For days with no or little cloud cover, the differences reach 1.7 degrees, and on days with solid cloud cover, the differences are almost non-existent. Statistically significant differences were found between the measured and calculated temperature for groups of days divided by cloud conditions for the irradiation period from 10 to 17 hours, which indicates that it is possible to consider making amendments to the Shklover's formula for clear days. It is planned to conduct longer studies of the temperature regime of the wall surface.

**Keywords:** solar radiation, heating, facade, irradiation, enclosing structure.

**For citation:** Korkina E.V., Gorbarenko E.V., Pastushkov P.P., Tyulenev M.D. Investigation of the heating temperature of the facade surface from solar radiation under various irradiation conditions. *Zhiliщchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 7, pp. 19–25. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-19-25>

Поступление солнечной радиации к светопрозрачным ограждающим конструкциям зданий учитывается при расчетах энергии, затрачиваемой на отопление и вентиляцию здания за отопительный период (СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты») [1]. При этом рассматривается подбор остекления, обладающего мультифункциональными свойствами, т. е. способствующего защите от перегрева в летних условиях, но одновременно снижающего теплопотери в зимних условиях [1, 2], а также влияние такого остекления на естественное освещение и инсоляцию [3, 4]. В России расчет и проектирование теплофизических характеристик несветопрозрачных ограждающих конструкций осуществляется исключительно для зимних условий эксплуатации [5]. Между тем при учете теплопередачи несветопрозрачных конструкций в летних условиях для некоторых зон РФ возможно достичь эффекта энергосбережения за счет экономии энергии на кондиционировании при обеспечении теплового комфорта в помещении. Так, для этих целей в [6] рассмотрен подбор материалов во фрагменте стены в лабораторных условиях. С этой точки зрения для территории РФ интересным является изучение, например, изменения характеристик утеплителя в летних условиях, для чего необходимо провести расчеты передачи теплоты от наружной поверхности стены к внутренней. Работ, рассматривающих расчетное или экспериментальное определение температуры нагрева наружной поверхности стен [7] или кровли, не так много. В основном рассматривается расчетное и измеренное поступление солнечной радиации к кровле [8] и наклонным поверхностям [9]. В работе З.И. Пивоваровой [10] рассматривается расчет температуры нагрева стены с учетом солнечной радиации, лучистого теплообмена, интенсивности воздухообмена между внутренним воздухом и наружной средой и термического сопротивления стен. Расчет при учете всех факторов показал, что за счет нагрева от прямой солнечной радиации возможна прибавка в температуре наружной поверхности стены до 4°C относительно расчета без учета солнечной радиации.

В той же работе [10] показано, что расчет по формуле Шкловера [11], учитывающей влияние только солнечной радиации, дает близкие значения к авторскому расчету из [10] при отрицательной температуре воздуха и прибавку до 2°C при положительной температуре воздуха. Различия объясняются тем, что в формуле Шкловера не учтены процессы теплообмена, учтенные в формуле Пивоваровой [10]. Однако не обнаружено сопоставление расчетного и измеренного значений температуры нагрева наружной поверхности стены. Такое сравнение проводится в настоящей статье для различных условий облучения.

### Анализ величин, связывающих температуру нагрева исследуемого фасада и поступающую солнечную радиацию

В данной работе зависимость температуры нагрева фасада от поступающей солнечной радиации определяется формулой Шкловера [11] для каждого часа светового дня (1):

$$t_{\text{н}}^{\text{усл}} = t_{\text{н}} + \frac{I^{\text{вср}} \cdot \rho}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха, °C;  $I^{\text{вср}}$  – суммарная солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность фасада за исследуемый промежуток времени, Вт/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью фасада;  $\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент теплообмена у поверхности фасада, Вт/(м<sup>2</sup>·°C), вычисляемый по формуле (2):

$$\alpha_{\text{н}} = 5,8 + 11,6\sqrt{v_{\text{н}}}, \quad (2)$$

где  $v_{\text{н}}$  – скорость ветра – принимается по справочным данным [12]. При обработке результатов эксперимента скорость ветра принималась равной 2,3 и 2,2 м/с в соответствии с периодом измерений. Ниже более подробно рассматривается определение величин  $I^{\text{вср}}$ ,  $t_{\text{н}}$  и  $\rho$ , входящих в формулу (1).

### Объект измерений

Исследуемая стена, выполненная в виде системы фасадной теплоизоляционной композиционной (СФТК), смонтированной на стену из силикатного кирпича, ориентирована на юг и находится в застройке типа «замкнутый двор», что обеспечивает частичное облучение и частичное ее затенение в течение светового дня (рис. 1). Наружная поверхность исследуемой стены покрыта тонким штукатурным слоем, на внутренней и наружной поверхности которого вмонтированы три пары датчиков температуры. Датчики вмонтированы на высоте примерно 2 м от



Рис. 1. Схема застройки в плане. Расположение исследуемой стены с датчиками температуры в застройке типа «замкнутый двор»

Fig. 1. Building scheme in the plan. Location of the test wall with temperature sensors in a building of the «closed courtyard» type



**Рис. 2.** Исследуемая стена с датчиками температуры на фасаде № 1, 2, 3 и на выносе под козырьком  
**Fig. 2.** The wall under study with temperature sensors on the facade #1, # 2, # 3 and on the carry-out under the canopy

подстилающей поверхности (рис. 2, 3) во избежание влияния влаги, поступающей от поверхности земли, и затенения объектами, не относящимися к застройке.

### Порядок проведения измерений и расчетов

В соответствии с формулой Шкловера (1) для определения температуры нагрева поверхности стены необходимо иметь данные о поступающей солнечной радиации за один час, температуре воздуха, коэффициенте поглощения поверхности стены. Эти параметры возможно определить путем измерения или же вычислить из измеренных данных.

Рассмотрим порядок определения указанных величин.

1. Температура нагрева наружной поверхности стены  $t_{\text{н}}^{\text{изм}}$ , °С, выполненной по системе фасадной теплоизоляционной композиционной (СФТК), находящейся в застройке, и температура воздуха на выносе под козырьком  $t_{\text{н}}$ , °С, измерялись за период наблюдений 28 дней теплого периода 2019 г. Измерения проводились на оборудовании НИИСФ РААСН прибором ИТП-МГ 4.03/20(1) «ПОТОК» с интервалом не менее 15 мин. Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерения температуры, вызванной отклонением температуры электронного блока от 20°С (на каждые 10°С отклонения),  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ .

2. Суммарная радиация  $I^{\text{всп}}(x, y)$ , поступающая на исследуемый участок стены за один час, рассчитывалась, Вт/м<sup>2</sup>:

$$I^{\text{всп}}(x, y) = S^{\text{всп}}(x, y) + D^{\text{всп}}(x, y). \quad (3)$$

При этом солнечная радиация, прямая  $S^{\text{всп}}(x, y)$ , Вт/м<sup>2</sup>, и рассеянная  $D^{\text{всп}}(x, y)$ , Вт/м<sup>2</sup>, поступающая на вертикальную поверхность рассматриваемой стены с учетом затенения застройкой, определялась путем вычислений согласно методикам, рассмотренным в работах [13, 14], с использованием эксперименталь-



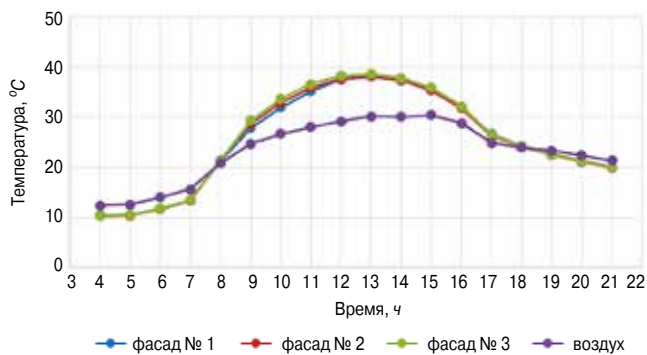
**Рис. 3.** Исследуемая стена на фасаде здания  
**Fig. 3.** Location of the wall under study on the facade of the building

но полученных данных. Этими данными являются значения прямой  $S^{\text{Гоп}}(t_{\odot})$ , МДж/м<sup>2</sup> в час, и рассеянной  $D^{\text{Гоп}}(t_{\odot})$ , МДж/м<sup>2</sup> в час, солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, по часам истинного солнечного времени  $t_{\odot}$  за тот же период наблюдений, что и в п. 1. Также проводилась фиксация облачности в баллах. Измерения проводились в Метеорологической обсерватории кафедры метеорологии и климатологии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МО МГУ).

3. Коэффициент поглощения солнечной радиации  $\rho$  рассчитывался исходя из предположения, что проходящая составляющая солнечного излучения отсутствует, поэтому необходимо определить только коэффициент отражения финишного покрытия исследуемой стены с СФТК. Для этого были проведены измерения коэффициента отражения согласно ГОСТ Р 56709–2015 «Здания и сооружения. Методы измерения коэффициентов отражения света поверхностями помещений и фасадов» на оборудовании НИИСФ РААСН – спектрофотометре СФ-256 УВИ с приставкой ПДО-7 и спектрофотометре СФ-256 БИК с приставкой ПДО-8 (абсолютная погрешность измерений  $\pm 0,25\text{--}1\%$ ). Его величина составила 0,66. Коэффициент поглощения солнечной радиации  $\rho$  при отсутствии проходящей составляющей рассчитывается (4):

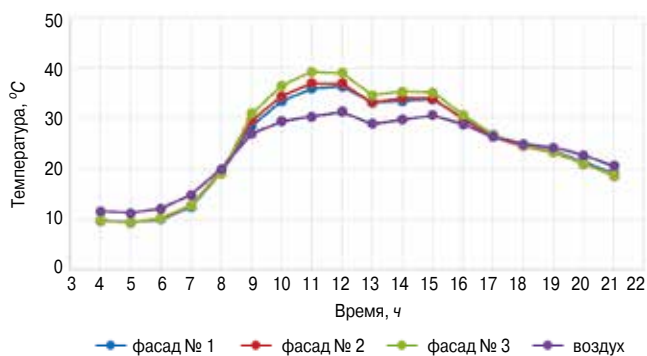
$$\rho = 1 - 0,66 = 0,34. \quad (4)$$

Все измерения проводились на поверенном оборудовании, имеющем свидетельства о поверке.



**Рис. 4.** Изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха за восьмой день

**Fig. 4.** Changing the heating temperature of the wall surface and air for the 8<sup>th</sup> day



**Рис. 6.** Изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха за второй день

**Fig. 6.** Changing the heating temperature of the wall surface and air for the 2<sup>nd</sup> day

### Обработка экспериментальных данных

Учитывая цель настоящей работы и связь поступающей солнечной радиации с облачностью, 28 дней наблюдений теплого периода года разделены на три группы в зависимости от баллов облачности и соответственно условий облучения прямой радиацией. При этом рассеянная радиация присутствует каждый день.

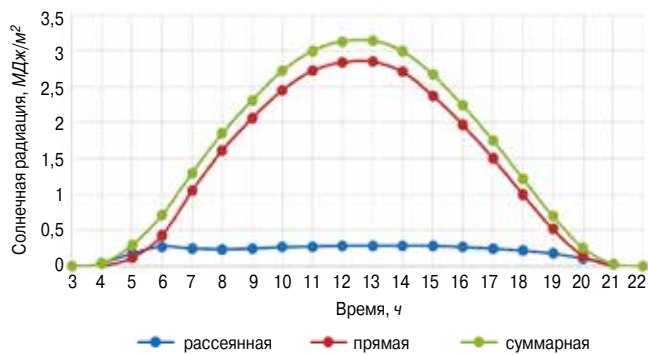
*Первая группа* по условиям облучения – это дни с безоблачным небом и с незначительной облачностью. В эти дни прямая радиация практически или вообще не затеняется облаками, всего пять дней.

*Вторая группа* по условиям облучения – это дни, в которые наблюдается облачность с просветами и средняя облачность. В эти дни прямая радиация частично затеняется, частично присутствует, всего 16 дней.

*Третья группа* по условиям облучения – это дни со сплошной облачностью. В эти дни прямая радиация отсутствует, всего семь дней.

Типичные кривые изменения температуры нагрева поверхности стены для каждой пары датчиков и температуры воздуха, а также прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации для одного дня из каждой группы приведены на рис. 4–9.

Из графиков рис. 4–9 видно, что температура нагрева значительно зависит от поступления прямой



**Рис. 5.** Поступающая солнечная радиация (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за восьмой день

**Fig. 5.** Incoming solar radiation (direct, diffuse, total) by daylight hours for the 8<sup>th</sup> day



**Рис. 7.** Поступающая солнечная радиация (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за второй день

**Fig. 7.** Incoming solar radiation (direct, diffuse, total) by daylight hours for the 2<sup>nd</sup> day

солнечной радиации, имеет максимальные значения для дней группы № 1. Однако следует статистически подтвердить наличие различия между группами. Для выявления статистически значимых различий следует выбрать критерий, основываясь на особенностях полученных данных. При таком небольшом количестве дней в группах № 1 и 3 невозможно корректно провести проверку нормальности распределения, поэтому следует выбрать непараметрический критерий анализа статистически значимых различий, причем для сравнения нескольких групп. Для таких целей подходит критерий Крускала–Уоллиса [15]. Суть его заключается в ранжировании данных измерений во всех группах и затем в вычислении критерия по следующей формуле (5):

$$N = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1), \quad (5)$$

где  $k$  – количество групп;  $n_i$  – количество элементов в группе;  $N$  – сумма элементов всех групп;  $R_i$  – сумма рангов элементов в  $i$ -й группе.

Значение критерия  $H$  сравнивается с критическим значением  $H_p$  при уровне значимости  $p$ . В случае, если  $H \geq H_p$  гипотеза о наличии различий отклоняется.

Для сравнительного анализа групп температуры проведено усреднение температуры за каждый час



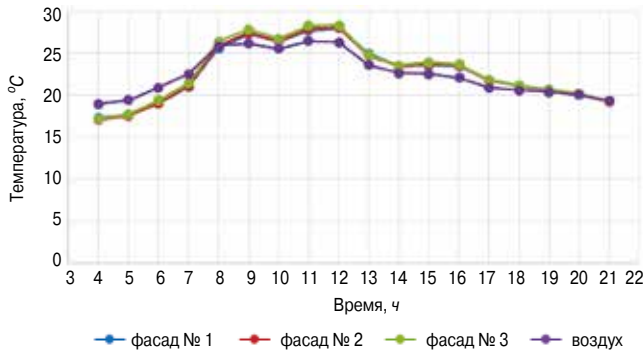


Рис. 8. Изменение температуры нагрева поверхности стены и воздуха за десятый день

Fig. 8. Changing the heating temperature of the wall surface and air for the 10<sup>th</sup> day

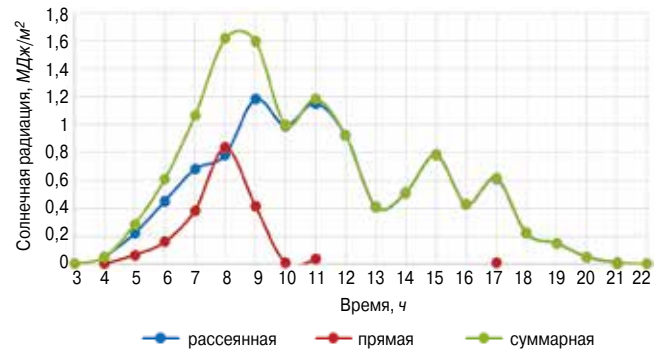


Рис. 9. Поступающая солнечная радиация (прямая, рассеянная, суммарная) по часам светового дня за десятый день

Fig. 9. Incoming solar radiation (direct, diffuse, total) by daylight hours for the 10<sup>th</sup> day

для всех пар датчиков и затем выбраны следующие параметры (табл. 1): максимальные разности температуры нагрева стены и воздуха  $\max(t_{ст} - t_{в})$ , °C; час их наблюдения; облачность в баллах в этот час; соотношение для этого часа прямой и рассеянной радиации,  $S^{гор}/D^{гор}$ ; разность средней температуры стены и средней температуры воздуха с 7 до 17 ч  $(\bar{t}_{ст} - \bar{t}_{в})$ , °C; отношение суммы значений прямой к сумме значений рассеянной радиации с 7 до 17 ч  $\sum S^{гор}/\sum D^{гор}$ . Время с 7 до 17 ч выбрано исходя из условий облучения стены.

Выявлены статистически значимые различия по всем рассматриваемым признакам, значит, деление на группы произведено верно.

Экспериментальные данные по солнечной радиации и температуре нагрева поверхности стены и наружного воздуха использовались для сопоставления результатов измерений и расчетов.

### Сопоставление измеренной и рассчитанной температуры нагрева поверхности стены для различных условий облучения

Для проведения сопоставления измеренная температура нагрева стены усреднялась для всех пар датчиков за каждый час каждого дня измерений, т. е. для каждого часа и каждого дня получилось значение  $t_{н}^{изм}$ . Также для каждого часа каждого дня измерений произведено вычисление  $t_{н}^{усл}$  по формуле (1). Затем для каждого часа каждого дня рассчитаны разности температуры  $(t_{н}^{изм} - t_{н}^{усл})$  и произведено вычисление средней разности для каждого часа каждой группы дней (4):

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_1^{n_i} (t_{н}^{изм} - t_{н}^{усл})}{n_i}, \quad (6)$$

где  $n_i$  – количество дней в  $i$ -й группе.

Из данных табл. 2 видно, что при рассмотрении утренних и вечерних часов, когда интенсивность поступающей солнечной радиации невысока, рассчитанная температура оказывается выше измеренной.

Таблица 1  
Table 1

Выявление статистически значимых различий  
Identifying statistically significant differences

№ дня	Группа обл.	$\max(t_{ст} - t_{в}),$ °C	Час набл., облачность, баллы	$(\bar{t}_{ст} - \bar{t}_{в}),$ °C	$S^{гор}/D^{гор}$	$\sum S^{гор}/\sum D^{гор}$
8	1	9,2	12ч, 26	6,8	9,8	9,2
9	1	8,5	11ч, 06	6,4	9,6	9,29
11	1	8,9	12ч, 26	6,3	10,6	9,37
17	1	7,9	11ч, 16	5,4	6,23	4,52
18	1	8,7	12ч, 26	5,9	4,14	3,26
1	2	8,5	12ч, 86	4,4	3,17	2,27
2	2	8,9	11ч, 36	4,9	3,08	2,44
3	2	5,3	15ч, 96	1,7	2,51	0,61
4	2	6,8	14ч, 126	2,8	2,68	1,06
5	2	6,5	12ч, 12	4,7	0,88	0,94
6	2	6,7	13ч, 76	4,3	3,54	2,02
7	2	6,1	13ч, 86	4,6	1,02	1,14
14	2	6,2	14ч, 76	2,6	1,37	0,61
15	2	7,2	12ч, 66	4,4	1,95	1,66
16	2	7,3	12ч, 46	3,9	4,31	1,27
19	2	5,6	10ч, 66	3,6	2,21	1,09
20	2	6,4	12ч, 76	4,2	1,23	0,76
21	2	7,9	12ч, 56	5,5	3,49	1,41
22	2	7,3	12ч, 86	5,7	4,29	5,62
23	2	7,8	12ч, 126	5,1	3,83	2
28	2	7,1	12ч, 96	3,8	0,78	0,45
10	3	2,1	12ч, 106	1,3	0	0,08
12	3	4,3	11ч, 86	1,3	0,02	0,29
13	3	4	12ч, 106	2,6	0,02	0,09
24	3	3,1	11ч, 106	2,2	0	0,09
25	3	1,2	10ч, 106	0,7	0	0,02
26	3	0,4	9ч, 106	0,2	0	0
27	3	0,6	11ч, 106	0,3	0	0
Значение критерия Н		20,9	–	13,6	22,8	10,6
Уровень значимости р		<0,05	–	<0,05	<0,05	<0,05

Таблица 2  
Table 2

Средняя разность измеренной и рассчитанной температуры  
для трех групп дней измерений  
The average difference between the measured and calculated temperature  
for three groups of measurement days

Время суток, ч	Средняя разность измеренной и рассчитанной температуры $\delta = (t_{н}^{изм} - t_{н}^{расч}), ^\circ\text{C}$		
	Дни группы № 1, $n_i = 5$	Дни группы № 2, $n_i = 16$	Дни группы № 3, $n_i = 7$
7	-2,4	-1,9	-0,9
8	-0,8	-1	-0,7
9	-0,3	-0,2	-0,2
10	0,3	-0,2	-0,1
11	0,8	-0,2	0,3
12	0,7	0,1	0
13	1,2	0,4	0
14	0,9	-0,1	-0,3
15	1,7	0,5	-0,3
16	0,4	-0,2	-0,4
17	-0,1	-0,3	-0,3

В дневные часы, когда увеличивается интенсивность поступающей солнечной радиации, измеренная температура оказывается выше рассчитанной. Средняя разность увеличивается в утренние часы при малых значениях радиации. При отсутствии прямой радиации (третья группа) средняя разность мала.

В целом для дней первой группы средние разности больше, чем для второй группы, а для второй больше, чем для третьей группы.

Проверка статистически значимых различий данных табл. 2 по критерию Крускала–Уоллиса показала, что при сравнении данных с 7 до 17 ч для трех групп дней отсутствуют статистически значимые различия в средней относительной разности. А эта же

#### Список литературы

1. Гагарин В.Г., Коркина Е.В., Шмаров И.А. Теплопоступления и теплопотери через стеклопакеты с повышенными теплозащитными свойствами // *Academia. Архитектура и строительство*. 2017. № 2. С. 106–110.
2. Соловьёв А.К. Зеркальные фасады: их влияние на освещение противостоящих зданий // *Светотехника*. 2017. № 2. С. 28.
3. Куприянов В.Н., Седова Ф.Р. Обоснование и развитие энергетического метода расчета инсоляции жилых помещений // *Жилищное строительство*. 2015. № 5. С. 83–87.
4. Esquivias P. M., Moreno D., Navarro J. Solar radiation entering through openings: Coupled assessment of luminous and thermal aspects // *Energy and Buildings*. V. 175. 15 September 2018, pp. 208–218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.021>

оценка без учета ранних утренних часов, т. е. с 10 до 17 ч, показывает, что различия присутствуют для трех групп дней измерений.

Полученные результаты показывают, что формула Шкловера справедлива для любых условий облучения при почасовом расчете, так как средняя относительная разность мала для рассмотренных групп дней, разделенных по условиям облучения. Однако для уточнения расчета следует вводить поправку на условия облучения. Так, при преобладании прямой радиации необходимо учитывать, что измеренная температура нагрева выше рассчитанной.

Отметим, что рассмотренная методика сравнения наличия различий в измеренной и рассчитанной температуре по условиям облучения применима только для 28 рассмотренных дней теплого периода года. Следует провести сравнительные измерения и расчеты для большего количества дней, включая холодный период года.

#### Выводы

Таким образом, расчеты температуры нагрева исследуемой стены по формуле Шкловера близки к экспериментальным значениям для различных условий облучения для рассмотренных дней теплого периода года, что допускает возможность применения таких расчетов. При преобладании прямой радиации измеренная температура выше рассчитанной (до 1,7°C).

Следует провести сопоставительные исследования измеренной и рассчитанной температуры нагрева поверхности стены для большего количества дней, включая холодный период года.

#### References

1. Gagarin V.G., Korkina E.V., Shmarov I.A. Teplopоступleniya i teplopoteri cherez steklopakety s povyshennymi teplozashchitnymi svoystvami. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2017. No. 2, pp. 106–110. (In Russian).
2. Solov'ev A.K. Zerkal'nye fasady: ikh vliyanie na osveshchenie protivostoyashchikh zdaniy. *Svetotekhnika*. 2017. No. 2, pp. 28–31. (In Russian).
3. Kupriyanov V.N., Sedova F.R. Obosnovanie i razvitie energeticheskogo metoda rascheta insolyatsii zhilykh pomeshchenii. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 5, pp. 83–87. (In Russian).
4. Esquivias P.M., Moreno D., Navarro J. Solar radiation entering through openings: Coupled assessment of luminous and thermal aspects. *Energy and Buildings*. V. 175. 15 September 2018, pp. 208–218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.021>
5. Gagarin V.G., Zubarev K.P. Matematicheskoe modelirovanie nestatsionarnogo vlazhnostnogo rezhima

5. Гагарин В.Г., Зубарев К.П. Математическое моделирование нестационарного влажностного режима ограждений с применением дискретно-континуального подхода // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. № 2. С. 244–256.
6. Khan R.J., Bhuiyan Md.Z., Ahmed D. H. Investigation of heat transfer of a building wall in the presence of phase change material (PCM) // *Energy and Built Environment*. 2020, pp. 199–206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.01.002>
7. Vanaga R., Purvins R., Blumberga A., Veidenbergs I., Blumberga D. Heat transfer analysis by use of lense integrated in building wall // *Energy Procedia*. V. 128. 2017, pp. 453–460. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.030>
8. Agugiaro G., Nex F., Remondino F., Filippi R. De, Droghetti S., Furlanello C. Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadaster. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Melbourne, Australia. V. 1–2. 2012, pp. 177–182. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsannals-l-2-177-2012>
9. Стадник В.В., Горбаренко Е.В., Шиловцева О.А., Задворных В.А. Сравнение вычисленных и измеренных величин суммарной и рассеянной радиации, поступающей на наклонные поверхности, по данным наблюдений в Метеорологической обсерватории МГУ // *Труды ГГО*. 2016. Вып. 581. С. 138–154.
10. Пивоварова З.И. Характеристика радиационного режима на территории СССР применительно к запросам строительства. Л.: Гидрометеоздат, 1973. 128 с.
11. Шкловер А.М., Васильев Б.Ф., Ушков Ф.В. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий. М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1956. 350 с.
12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 1–34. СПб.: Гидрометеоздат. 1989–1998.
13. Коркина Е.В. Графический метод расчета поступающей на фасад прямой солнечной радиации при наличии противостоящего здания // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. Вып. 2. С. 237–249. DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.2.237-249>.
14. Коркина Е.В., Шмаров И.А. Аналитический метод расчета рассеянной солнечной радиации, поступающей на вертикальную поверхность при частично перекрытом небосводе // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 3 (375). С. 230–236.
15. Гланц С. Медико-биологическая статистика / Пер. с англ. М.: Практика, 1998. 459 с.
- ograzhdenii s primeneniem diskretno-kontinual'nogo podkhoda. *Vestnik MGSU*. 2020. Vol. 15. No. 2, pp. 244–256. (In Russian).
6. Khan R.J., Bhuiyan Md.Z., Ahmed D. H. Investigation of heat transfer of a building wall in the presence of phase change material (PCM). *Energy and Built Environment*. 2020, pp. 199–206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.01.002>
7. Vanaga R., Purvins R., Blumberga A., Veidenbergs I., Blumberga D. Heat transfer analysis by use of lense integrated in building wall. *Energy Procedia*. V. 128. 2017, pp. 453–460. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.030>
8. Agugiaro G., Nex F., Remondino F., Filippi R. De, Droghetti S., Furlanello C. Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadaster. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Melbourne, Australia. 2012. Vol. 1–2, pp. 177–182. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsannals-l-2-177-2012>
9. Stadnik V. V., Gorbarenko E. V., Shilovtseva O. A., Zadvornyykh V. A. Sravnenie vychislennykh i izmerennykh velichin summarnoi i rasseyannoi radiatsii, postupayushchei na naklonnyye poverkhnosti, po dannym nablyudenii v Meteorologicheskoi observatorii MGU. *Trudy GGO*. 2016. Vol. 581, pp. 138–154. (In Russian).
10. Pivovarova Z.I. Kharakteristika radiatsionnogo rezhima na territorii SSSR primenitel'no k zaprosam stroitel'stva [Characteristics of the radiation regime on the territory of the USSR in relation to construction requests]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1973. 128 p. (In Russian).
11. Shklover A.M., Vasil'ev B.F., Ushkov F.V. Osnovy stroitel'noi teplotekhniki zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Fundamentals of construction heat engineering of residential and public buildings]. Moscow: Gosudarstvennoe izdanie literatury po stroitel'stvu i arkhitekture. 1956. 350 p. (In Russian).
12. Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye [The scientific and application-oriented reference manual on climate of the USSR. Series 3. Long-term data]. Parts 1–6, issue 1–34. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1989–1998. (In Russian).
13. Korkina E.V. Graficheskii metod rascheta postupayushchei na fasad pryamoi solnechnoi radiatsii pri nalichii protivostoyashchego zdaniya. *Vestnik MGSU*. 2019. Vol. 14. issue 2, pp. 237–249. DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.2.237-249>. (In Russian).
14. Korkina E.V., Shmarov I.A. Analiticheskii metod rascheta rasseyannoi solnechnoi radiatsii, postupayushchei na vertikal'nuyu poverkhnost' pri chastichno perekrytom nebosvode. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2018. No. 3 (375), pp. 230–236. (In Russian).
15. Glants S. Mediko-biologicheskaya statistika [Biomedical statistics]. Moscow: Praktika. 1998. 459 p. (In Russian).

# Особенности применения утеплителя ТЕПОФОЛ®

## Features of Application of Insulation ТЕPOFOL®

В статье изложены особенности применения утеплителя ТЕПОФОЛ® – нового вида теплоизоляции из несшитого вспененного полиэтилена в рулонах толщиной от 20 до 150 мм, с запатентованной технологией бесшовного замкового соединения, которая не имеет аналогов на строительном рынке. Благодаря уникальным тепло-, влаго-, шумоизоляционным свойствам материал ТЕПОФОЛ® подходит для утепления различных объектов, от частных жилых помещений до крупных промышленных и спортивных сооружений, находящихся в различных климатических зонах.

The article describes the features of the application of the insulation ТЕPOFOL® – a new type of insulation made of non-cross linked foamed polyethylene in rolls, with a thickness of 20 to 150 mm, with a patented technology of seamless lock connection, which has no analogues at the construction market. Due to the unique heat-, moisture-, sound insulation properties, the material ТЕPOFOL® is suitable for insulation of various objects – from private residential premises to large industrial and sports facilities located in different climatic zones.



ТЕПОФОЛ® – это рулонный утеплитель из вспененного полиэтилена толщиной до 150 мм с теплоотражающим слоем с одной или двух сторон. Основой служат полиэтиленовые гранулы высокого давления. Это сырье широко используется в пищевой промышленности, что подтверждает безопасность утеплителя.

Отличительной особенностью утеплителя ТЕПОФОЛ® от аналогов является запатентованная система замковых соединений. Она позволяет добиться однородности и герметичности теплоизоляционного слоя, исключая возможность появления щелей, зазоров и мостиков холода, тем самым увеличивая эффективность всей системы утепления без использования пены и герметиков. В отличие от традиционных видов утеплителей ТЕПОФОЛ® не впитывает влагу и не теряет своих свойств в процессе эксплуатации. Это говорит о надежности и долговечности утеплителя, а также исключает необходимость использования паро-, гидроизоляционных пленок и мембран, что позволит снизить трудозатраты и расходы на проведение теплоизоляционных работ.

Максимальная эффективность достигается за счет технологии утепления и физико-химических свойств материала. Теплоизоляция раскатывается по всей площади



утепления, после чего замковые соединения спаиваются между собой под тепловым воздействием строительного фена. Таким образом удается достичь единого герметичного теплоизоляционного полотна без щелей и мостиков холода.



Данная технология опробована и активно применяется Министерством обороны Российской Федерации для утепления тентно-мобильных укрытий, которые обеспечивают защиту находящейся внутри техники. Утеплитель ТЕПОФОЛ® способствует созданию необходимых климатических условий. Такое противопогодное сооружение дает возможность держать спецтехнику наготове в любое время года и при любых погодных условиях.



Другим примером утепления тентовой конструкции является теплоизоляция катков. Утеплитель ТЕПОФОЛ® способен сохранить не только тепло, но и холод. Это свойство помогает поддерживать оптимальный микроклимат в помещении вне зависимости от температуры окружающей среды. Применение утеплителя ТЕПОФОЛ® при строительстве катков позволит создать комфортный режим и даст возможность использовать сооружение круглогодично без перерасходов на климатические системы.



нить его до начала зимней Олимпиады 2014 г. Для этих целей специалистами ООО «ТЕПОФОЛ» было разработано «термоодеяло». Это позволило исключить риски срыва запланированных мероприятий вследствие влияния климатических особенностей региона. Применение данной разработки оказалось коммерчески оправданным в горнолыжных курортах. Это позволяет отдельным компаниям иметь конкурентное преимущество – начинать сезон раньше и позже его закан-

На разных высотах горного массива Аибга (Красная Поляна, Сочи) расположены семь площадок, на которых до конца 2012 г. было необходимо накопить 450 тыс. м<sup>3</sup> снега и сохра-

чивать, а также использовать запас с целью подстраховки при дефиците естественных осадков в зимний период на лыжных трассах любого типа.



Применение данного утеплителя в промышленных объектах обусловлено высокой эффективностью и надежностью в эксплуатации. Каркасные и бескаркасные сооружения обрели большую популярность для размещения в них производственных цехов, складских помещений, логистических центров, спортивных сооружений, объектов животноводческой деятельности и других объектов различного назначения. ТЕПОФОЛ® подходит для утепления всех типов ангаров. Рабочий температурный диапазон от -60°C до +80°C.

Теплоизоляция крепится механическими креплениями, что позволяет всевозможным образом проводить монтаж. ТЕПОФОЛ® не подвержен разрушению под влиянием температурных колебаний. Это обосновывает целесообразность использования данной теплоизоляции в суровых климатических условиях. ТЕПОФОЛ® обеспечивает цельный теплоизоляционный контур без щелей и мостиков холода. При таком монолитном утеплении изоляционная оболочка препятствует проникновению влаги и образованию конденсата на поверхности конструкций. Таким образом, эффективность теплоизоляционного контура повышается, внутренняя температура не зависит от

температуры окружающей среды и сохраняется на заданном уровне при минимальных затратах.

Формирование бесшовной изоляционной оболочки является актуальным и для малоэтажного строительства. Технология утепления «ТЕПОФОЛ» в частном домостроении применяется для теплоизоляции крыши, стен дома и пола. Основным элементом изоляции любого сооружения является формирование однородной тепло- и пароизоляционной оболочки по периметру утепляемой поверхности.

Таким образом, использование материала ТЕПОФОЛ® позволяет решить целый спектр строительных задач. Создание комфортных условий для всевозможного проживания и формирование энергоэффективной среды обитания на сегодняшний день являются ключевыми ориентирами проектных решений, реализуемых в современном строительстве. Для достижения желаемого результата в первую очередь необходимо выбирать и использовать соответствующие материалы. Теплоизоляция из вспененного полиэтилена ТЕПОФОЛ® имеет низкую теплопроводность и обеспечивает надежную паро-, гидроизоляцию и ветрозащиту.



г. Москва, ул. Щербаковская, д. 3, оф. 810  
Бесплатно по всей России: 8 (800) 700 30 48  
Тел. 8 (495) 517 33 00  
[www.tepofol.ru](http://www.tepofol.ru) [info@tepofol.ru](mailto:info@tepofol.ru)

УДК 692.53

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-28-33>

А.Д. ЖУКОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (lj211@yandex.ru);  
К.А. ТЕР-ЗАКАРЯН<sup>2</sup>, генеральный директор, автор изобретения; И.В. БЕССОНОВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук;  
В.С. СЕМЕНОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Е.А. ЗИНОВЬЕВА<sup>1</sup>, инженер

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

<sup>2</sup> ООО «ТЕПОФол» (105318, г. Москва, ул. Шербаковская, 3)

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Эффективные полы и кровли с применением пенополиэтилена

*Системы изоляции с применением пенополиэтилена с бесшовным соединением хорошо зарекомендовали себя при изоляции ангаров, складов сельскохозяйственной продукции, животноводческих объектов, производственных объектов, гаражей. Самостоятельной областью их применения могут быть изоляционные слои в плоских, в том числе эксплуатируемых кровлях или в системах плавающего пола. Верхний слой конструкции может быть выполнен как с помощью армированной бетонной стяжки, так и листовыми фиброцементными или хризотилцементными листами, и в этом случае имеет место пол сухой сборки. Целью исследований, изложенных в статье, было изучение свойств вспененного полиэтилена и проверка полученных результатов при реконструкции промышленного здания, а также подтверждение возможности получения в процессе монтажа промышленных плавающих полов бесшовной изоляционной оболочки по технологии ТЕПОФол (Патент РФ № 2645190). Результаты исследований показали, что прочность при сжатии при 10% деформации зависит от толщины изоляционного слоя и площади приложения нагрузки, что объясняется особенностями структуры вспененного полиэтилена. При больших площадях изоляционный слой из вспененного полиэтилена выдерживает нагрузки, характерные как для плавающих промышленных полов, так и для плоских эксплуатируемых кровель с армированной бетонной стяжкой поверх изолирующего слоя.*

**Ключевые слова:** плавающий пол, эксплуатируемая кровля, изоляционная оболочка, пенополиэтилен, замковое соединение, термическое сопротивление.

**Для цитирования:** Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Бессонов И.В., Семенов В.С., Зиновьева Е.А. Эффективные полы и кровли с применением пенополиэтилена // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-28-33>

A.D. ZHUKOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (lj211@yandex.ru); K.A. TER-ZAKARYAN<sup>2</sup>, General Director, Author of an Invention; I.V. BESSONOV<sup>3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); V.S. SEMENOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); E.A. ZINOV'eva<sup>1</sup>, Engineer

<sup>1</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

<sup>2</sup> LLC "ТЕПОFOЛ" (3, Shcherbakovskaya Street, Moscow, 105318, Russian Federation)

<sup>3</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Effective Floors and Roofs Using Polyethylene Foam

Insulation systems using polyethylene foam with a seamless connection have proven themselves in the insulation of hangars, warehouses of agricultural products, livestock facilities, production facilities, garages. An independent area of their application can be insulating layers in flat roofs, including those roofs in operation, or in floating floor systems. The top layer of the structure can be made using reinforced concrete screed as well as fiber-cement or chrysotile cement sheets, and in this case there is a floor of dry assembly. The purpose of the research described in the article was to study the properties of foamed polyethylene and verify the results obtained during the reconstruction of an industrial building, as well as confirming the possibility of a seamless insulation shell obtaining in during installation of industrial floating floors using patented technology ТЕПОFOЛ (Patent No. 2645190). Results of the studies show that the compressive strength at 10% deformation depends on the thickness of the insulating layer and the area of application of the load, which is explained by the structural features of foamed polyethylene. With large areas of insulation, the insulation layer of foamed polyethylene withstands the loads typical of both «floating» industrial floors and flat exploited roofs with reinforced concrete screed over the insulating layer.

**Keywords:** floating floor, maintained roof, insulation shell, polyethylene, lock connection, thermal resistance.

**For citation:** Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Bessonov I.V., Semenov V.S., Zinov'eva E.A. Effective floors and roofs using polyethylene foam. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 7, pp. 28–33. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-28-33>

Системы изоляции, предполагающие укладку теплоизоляционного материала по жесткому (как правило, бетонному и железобетонному основанию) с последующей укладкой армированной бетонной стяжки или сборного покрытия на основе влагостойких листовых материалов, реализуются в системах плавающих полов или плоских, в том числе эксплуатируемых кровель [1–3]. В качестве теплоизоляции используют в основном плиты из экструзионного пенополистирола или специальные жесткие и гидрофобизированные плиты на основе каменной ваты. Могут также применяться плиты из пеностекла, но, учитывая высокую цену, этот вид теплоизоляции применяется в особо важных или уникальных сооружениях [4–5]. Первым и основным требованием для подобных изоляционных решений является прочность изделий при сжатии, достаточная для сохранения целостности конструкции при нагрузке ее по верхней поверхности.

Общей особенностью применения плитных материалов является наличие стыков между отдельными изделиями. Эти стыки являются мостиками теплопередачи, что снижает приведенное термическое сопротивление по глади изолируемой поверхности, а также каналами влаго- и паропроницаемости, что предполагает обязательную пароизоляцию снизу (по основанию) и в некоторых случаях гидроизоляцию сверху [6, 7].

Реализованная концепция плавающего пола направлена на повышение звукоизоляции, снижение паропроницаемости, защиту от капельной влаги, а также повышение теплоизолирующей способности конструкции. Такие полы укладывают по междуэтажным перекрытиям, по утепляемому чердаку, по основаниям, контактирующим с грунтом. В каждом случае, обусловленном как спецификой применения, так и характеристиками конструкций, исполнение плавающего пола имеет свои особенности.

Опыт реализации строительных изоляционных систем показывает, что для создания эффективной изоляционной оболочки необходимо соединение отдельных изоляционных изделий без явного стыка с заведением теплоизоляционного материала на стены при сочетании в одном материале паро-, тепло- и гидроизолирующих свойств. Подобными свойствами обладают изделия на основе вспененных полиолефинов, и в частности пенополиэтилена. Реализация технологии ТЕПОФОЛ, согласно которой рулоны пенополиэтилена укладываются с соединением в замок с последующей сваркой шва горячим воздухом, позволяет получить действительно бесшовную комплексную изоляционную оболочку [8].

Пенополиэтилен является эластичным материалом, что делает необходимым изучение его прочностных характеристик и изменения этих характеристик во времени. Эти исследования были проведены в

НИУ МГСУ. Исследования по водопоглощению теплоизоляционного слоя и теплопроводности проводились в НИИСФ РААСН.

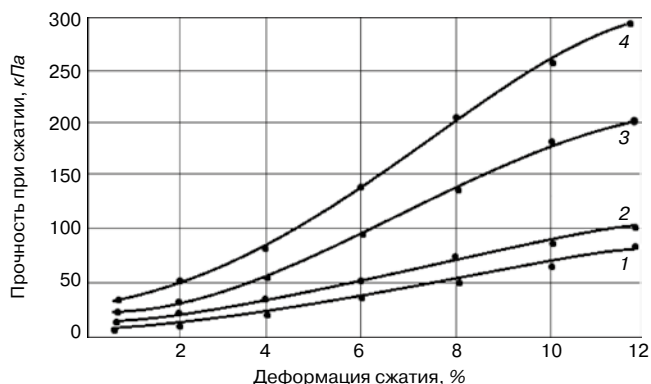
Прочность при сжатии образцов вспененного полиэтилена определялась в интервале деформаций от 0 до 12%. Испытывались изделия из вспененного полиэтилена (с металлизированным отражающим покрытием и без него) размерами 100×100×100; 100×100×50; 200×200×100 и 200×200×50 мм с отношением площади и толщины (геометрический фактор  $S/h$ , м<sup>2</sup>/м) соответственно 0,1; 0,2; 0,4 и 0,8 м. По результатам испытаний установлено, что наличие (отсутствие) металлизированного покрытия изделий и климатическое воздействие практически не оказывают влияния на механические свойства образцов пенополиэтилена. Повышение прочности за счет покрытия не превышает 2,1%, это меньше, чем статистическая ошибка эксперимента, равная 4,9%.

Влияние геометрического фактора – отношения площади образца материала к его толщине  $S/h$  очень велико (рис. 1, таблица). Это объясняется условиями деформации образца при сжатии и структурой материала. Пенополиэтилен является эластичным материалом с высокой прочностью при растяжении. Поры вспененного полиэтилена заполнены газом, а мембраны, разделяющие ячейки, практически газонепроницаемы.

На ранних стадиях нагружения, когда напряжение в мембранах еще не превысило критическое, ячейки материала центральной области работают на сжатие,

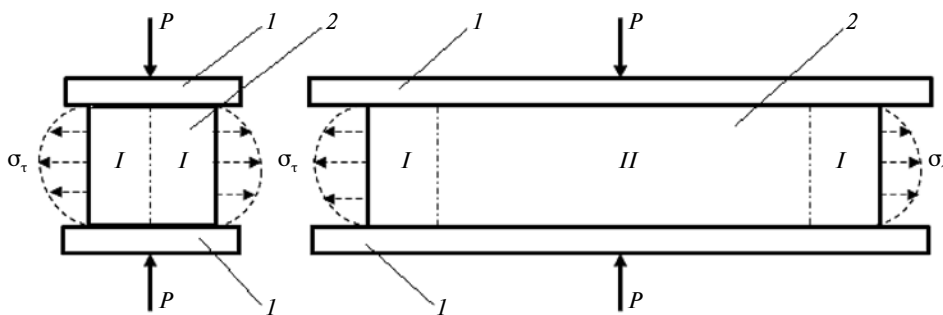
**Зависимость прочности при сжатии образцов пенополиэтилена от деформации сжатия и геометрического фактора**  
Dependence of compressive strength of polyethylene foam samples on compression strain and geometric factor

Деформация сжатия, %	Геометрический фактор $S/h$ , м <sup>2</sup> /м			
	0,1	0,2	0,4	0,8
2	10	20	32	50
10	68	81	170	260



**Рис. 1.** Зависимость прочности при сжатии образцов пенополиэтилена от деформации при величине их геометрического фактора  $S/h$ : 1 – 0,1 м<sup>2</sup>/м; 2 – 0,2 м<sup>2</sup>/м; 3 – 0,4 м<sup>2</sup>/м; 4 – 0,8 м<sup>2</sup>/м

**Fig. 1.** The dependence of the compressive strength of samples of polyethylene foam on deformation when the value of their geometric factor ( $S/h$ ): 1 – 0.1 м<sup>2</sup>/м; 2 – 0.2 м<sup>2</sup>/м; 3 – 0.4 м<sup>2</sup>/м; 4 – 0.8 м<sup>2</sup>/м



**Рис. 2.** Схема деформации образцов пенополиэтилена под нагрузкой ( $P$ ):  $\sigma_{\tau}$  – тангенциальные напряжения; I – области образца, работающие на расширение; II – области образца, работающие на сжатие; 1 – поверхности прессы; 2 – образец пенополиэтилена

**Fig. 2.** Scheme of deformation of samples of polyethylene foam under load ( $P$ ):  $\sigma_{\tau}$  – tangential stresses; I – areas of the sample working on expansion; II – areas of the sample working in compression; 1 – surface of the press; 2 – a sample of polyethylene foam



**Рис. 3.** Укладка рулонов пенополиэтилена (a) и их сварка горячим воздухом (b)

**Fig. 3.** Laying rolls of polyethylene foam (a) and their welding with hot air (b)



**Рис. 4.** Установка арматурных каркасов (a) и разделительных элементов (b)

**Fig. 4.** Installation of reinforcing cages (a) and dividing elements (b)

а расширение образца происходит в тангенциальном направлении (рис. 2). Упругая деформация растяжения пропорциональна тангенциальным напряжениям ( $\sigma_{\tau}$ ) в образце. А сопротивляемость сжатию пропорциональна нормальным напряжениям ( $\sigma_n$ ) и определяется упругостью газа в ячейках полиэтилена и прочностными характеристиками полимера.

Чем больше площадь образца (отношение площади образца к его толщине), тем большая его площадь работает на сжатие и тем выше его сопротивляемость этому сжатию под нагрузкой  $P$ . Эффект проявляется сильнее при более высоком значении  $S/h$ , а это в свою очередь предопределяет применение полотен (рулоном, соединенных в замок с последующей сваркой горячим воздухом) из пенополиэтилена в качестве изоляционной основы плавающего пола.

Плавающий пол является распространенным конструктивным решением, реализуемым по любому твердому основанию – бетонному перекрытию, деревянному настилу и пр. В качестве изоляционных слоев используют паро- и гидроизоляционные рулонные материалы, минераловатные плиты, а также изделия на основе вспененных пластмасс. В части основы для

напольного покрытия используется сборная стяжка или армированная бетонная стяжка.

В нормальном режиме эксплуатации удельная нагрузка составляет  $150 \text{ кг/м}^2$ , что соответствует прочности при сжатии  $15 \text{ кПа}$ . Сравнивая результаты расчета с данными, представленными на рис. 1, можно сделать вывод, что при отношении площади поверхности образца к толщине слоя теплоизоляции ( $S/h$ ) более  $0,4$  деформация сжатия слоя теплоизоляции не превысит  $1\%$ . В реальных условиях, когда при толщине изоляции  $100 \text{ мм}$  площадь пола исчисляется десятками квадратных метров, величина деформации будет еще меньше. При деформации теплоизоляции пола в пределах  $1\%$  ее толщины увеличение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного слоя составит не более  $1\%$ , т. е. расчетное значение коэффициента теплопроводности пенополиэтилена в конструкции плавающего пола составит:  $0,038 \times 1,01 = 0,039 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Проведенные исследования и расчет позволяют сделать вывод, что прочностные характеристики вспененного полиэтилена «Теполфол» позволяют использовать этот материал в системах плавающего пола в качестве теплоизоляции, а низкие паропро-





Рис. 5. Укладка бетона  
Fig. 5. Concrete laying



Рис. 6. Готовый пол (a) и монтаж технологического оборудования с помощью крана (b)  
Fig. 6. Finished floor (a) and installation of technological equipment using a crane (b)



Рис. 7. Мониторинг состояния изоляционного слоя плавающего пола  
Fig. 7. Monitoring the condition of the insulation layer of the floating floor



ницаемость и водопоглощение делают возможным его одновременное применение в качестве гидро- и пароизоляции [9–11].

С учетом того, что в условиях промышленного производства расчетная удельная нагрузка может достигать  $250 \text{ кг/м}^2$ , а в условиях монтажа линий и использования тяжелой техники внутри цеха и до  $400 \text{ кг/м}^2$ , были проведены дополнительные исследования при отношении  $S/h=10/0,1=100$ , которые показали, что деформация пенополиэтилена при сжатии не превышает 1% и этот материал может быть рекомендован в качестве изоляционного слоя промышленного плавающего пола (рис. 3–5).

По сплошному основанию укладывается теплоизоляционный слой из рулонного пенополиэтилена толщиной 50 мм. Утеплитель плотно прижимается

к стене несущей конструкции враспор и на расстоянии до 150 мм от стен несущей конструкции по всему периметру крепится к сплошному основанию пола (рис. 3). После укладки слоя теплоизоляции замковые системы, расположенные на стыках рулонов, свариваются между собой (под тепловым воздействием) таким образом, чтобы получилось единое герметичное теплоизоляционное полотно.

Затем края теплоизоляционного полотна, фактически замковые части утеплителя толщиной 30 мм, заводят на поверхность стен и по всему периметру фиксируют саморезами к стенам так, чтобы слой материала вплотную примыкал к участку стены. При этом высота теплоизоляции, край которой заводится на стены, равна высоте пола до финишного покрытия. Таким образом, по линии пол–стена не образуется зазор и

обеспечивается надежное утепление самых уязвимых участков пола – всего периметра и углов.

Следующим этапом является установка арматурных каркасов, разделительных элементов и дополнительного усиления основания в местах предполагаемого размещения технологического оборудования (рис. 4), далее осуществляется укладка бетона с поверхностным вибрированием (рис. 5). После выдержки пол обрабатывается топингом и затирочными машинами и наносится финишное защитное покрытие. После 28 сут твердения становится возможным размещение технологического оборудования (рис. 6).

Эксплуатационные характеристики пенополиэтилена, а также изоляционных оболочек на его основе вполне соответствуют требованиям к материалам и системам, работающим под нагрузкой, в контакте с влажным основанием, а также при отрицательной и знакопеременной температуре. С точки зрения поддержания температурного режима в изолируемом объеме наилучшим способом является формирование бесшовного стыка в результате замкового соединения отдельных рулонов пенополиэтилена при помощи тепловой сварки. Эта технология также обуславливает значительное увеличение теплозащитных свойств изоляционной оболочки за счет минимизации мостиков холода и исключения неплотностей в соединении отдельных изоляционных элементов и на поверхностях примыкания к конструкциям.

#### Список литературы

1. Умнякова Н.П., Цыганков В.М., Кузьмин В.А. Экспериментальные теплотехнические исследования для рационального проектирования стеновых конструкций с отражательной теплоизоляцией // *Жилищное строительство*. 2018. № 1–2. С. 38–42.
2. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Semenov V.S. Insulation systems with the expanded polyethylene application // *ScienceDirect IFAC PaperOnLine*. 2018. Vol. 51, Issue 30. Pp. 803–807. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.191
3. Иванова Н.А. Основные направления перспектив развития жилищного строительства на местном уровне // *Московский экономический журнал*. 2018. № 4. С. 65–74.
4. Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Бессонов И.В., Семенов В.С., Старостин А.В. Системы строительной изоляции с применением пенополиэтилена // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 58–61. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-58-61>
5. Тер-Закарян А.К., Жуков А.Д. Изоляционная оболочка малоэтажных зданий // *Жилищное строительство*. 2019. № 8. С. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-8-15-18>

Мониторинг состояния изоляционной оболочки плавающего пола (рис. 7) проводился при выводе коммуникаций из цеха за его пределы с подземной прокладкой. Исследования показали, что деформация сжатия пенополиэтилена внутри изоляционной оболочки не превышает 1%, свойства пенополиэтилена не изменились и разрывов или других разрушений изоляционной оболочки зафиксировано не было.

Исследование эксплуатационных характеристик изделий на основе вспененного полиэтилена проводилось в НИУ МГСУ, на промышленной базе ООО «ТЕПОФОЛ», а также лабораториями НИИСФ РААСН в рамках реализации Гранта РФФИ, академическая тема № 7.5.5 «Материаловедческие основы формирования свойств строительных систем с применением вспененных искусственных конгломератов и методика оценки долговечности полимерных композиционных материалов в условиях умеренного климата России». Исследования показали, что рулонный пенополиэтилен с металлизированным покрытием или без него полностью соответствует предъявляемым требованиям, а разработанная система формирования изоляционной бесшовной оболочки на основе вспененного полиэтилена может быть рекомендована к использованию при устройстве плавающих полов, в том числе и для промышленных объектов и складов, а также для конструкций плоских, в том числе эксплуатируемых кровель.

#### References

1. Umnyakova N.P., Tsygankov V.M., Kuzmin V.A. Experimental heat engineering research for the rational design of wall structures with reflective heat insulation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 1–2, pp. 38–42. (In Russian).
2. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Semenov V.S. Insulation systems with the expanded polyethylene application. *ScienceDirect IFAC PaperOnLine*. 2018. Vol. 51, Issue 30. Pp. 803–807. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.191.
3. Ivanov N.A. The main directions of prospects for the development of housing construction at the local level. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal*. 2018. No. 4, pp. 65–74. (In Russian).
4. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Bessonov I.V., Semenov V.S., Starostin A.V. Building insulation systems using polyethylene foam. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 58–61. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-58-61>.
5. Ter-Zakaryan A.K., Zhukov A.D. Insulating shell of low-rise buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 8, pp. 35–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-8-15-18>
6. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Bessonov I.V., Lobanov V.A., Starostin A.V. Energy Efficiency of Seamless Insu-

6. Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Бессонов И.В., Лобанов В.А., Старостин А.В. Энергетическая эффективность бесшовных изоляционных оболочек // *Строительные материалы*. 2019. № 6. С. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-49-55>
7. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Semenov V.S., Kozlov S.D., Zinovieva E.A. and Fomina E.D. Insulation systems for buildings and structures based on polyethylene foam. IPICSE-2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825101014>
8. Патент РФ 2645190. *Замковая технология тепло-изоляционного материала для бесшовной сварки соединительных замков* / К.А. Тер-Закарян. Заявл. 26.09.2016. Опубл. 16.02.2018. Бюл. № 5.
9. Zhukov Alexey, Ter-Zakaryan Armen, Bobrova Ekaterina, Bessonov Igor, Medvedev Andrey, Mukhametzyanov Vitaly and Poserenin Alexey. Evaluation of thermal properties of insulation systems in pitched roofs. *E3S 91, 02047 (2019) TPACEE-2018*. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102047>
10. Pyataev Evgeni, Zhukov Alexey, Vako Kirill, Burtseva Marina, Elizaveta Mednikova, Maria Prusakova and Elizaveta Izumova. Effective polymer concrete on waste concrete production 02032. *E3S Web of Conferences Volume 97 (2019). XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2019)*. Tashkent, Uzbekistan, April 18–21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199702032>
11. Зиновьева Е.А., Жуков А.Д., Тер-Закарян А.К., Бессонов И.В. Купольный дом вегетарий // *Жилищное строительство*. 2019. № 7. С. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-35-40>
7. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Semenov V.S., Kozlov S.D., Zinovieva E.A. and Fomina E.D. Insulation systems for buildings and structures based on polyethylene foam. IPICSE-2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825101014>
8. Patent RF 2645190. *Zamkovaya tekhnologiya teploizolyatsionnogo materiala dlya besshovnoi svarki soedinitel'nykh zamkov* [Castle technology of heat-insulating material for seamless welding of connecting locks]. Ter-Zakaryan K.A. Declared 26.09.2016. Published 16.02.2018. Bulletin No. 5. (In Russian).
9. Zhukov Alexey, Ter-Zakaryan Armen, Bobrova Ekaterina, Bessonov Igor, Medvedev Andrey, Mukhametzyanov Vitaly and Poserenin Alexey. Evaluation of thermal properties of insulation systems in pitched roofs. *E3S 91, 02047 (2019) TPACEE-2018*. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102047>
10. Pyataev Evgeni, Zhukov Alexey, Vako Kirill, Burtseva Marina, Elizaveta Mednikova, Maria Prusakova and Elizaveta Izumova. Effective polymer concrete on waste concrete production 02032. *E3S Web of Conferences Volume 97 (2019). XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2019)*. Tashkent, Uzbekistan, April 18–21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199702032>
11. Zinovieva EA, Zhukov A.D., Ter-Zakaryan A.K., Bessonov I.V. Dome House Vegetarian. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 7, pp. 35–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-35-40>

## СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА



### Защита деревянных конструкций

Автор – А.Д. Ломакин, канд. техн. наук, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

В книге приведены результаты исследований, проведенных автором и разработанные им рекомендации по конструкционной и химической защите деревянных конструкций. Большое внимание уделено защите несущих ДКК и конструкций из ЛВЛ от эксплуатационных воздействий и возгорания.

Приведены известные и разработанные автором методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натуральных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Описаны результаты мониторинга влажностного состояния несущих КДК в таких крупных объектах, как ЦВЗ «Манеж», крытый конькобежный центр в Крылатском в Москве и др., при проведении которого использована разработанная автором методика оценки влажности древесины с использованием модельных образцов.

Книга рассчитана на специалистов и научных работников, работающих в области защиты деревянных конструкций, технологов предприятий по производству КДК и заводов деревянного домостроения, со-

трудников проектных организаций и преподавателей вузов. Она может быть полезна также и для организаций, занимающихся строительством зданий и сооружений с применением деревянных конструкций.

Приобрести книгу можно обратившись в редакцию по телефонам **(499) 976-20-36, 976-22-08**, или отправив заявку на электронную почту **mail@rifsm.ru**

**<http://rifsm.ru/editions/books/#55>**

УДК 711.641

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-34-40>В.А. ЗЕМЦОВ, канд. техн. наук (ins-es@yandex.ru), И.А. ШМАРОВ, канд. техн. наук,  
Л.В. БРАЖНИКОВА, инженер, В.В. ЗЕМЦОВ, инженерНаучно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук  
(127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Относительная яркость фасадов параллельно стоящих зданий в городской П-образной застройке

*Средняя яркость фасада здания зависит от отделки здания, альbedo подстилающей поверхности, прилегающей к зданию, отделки и взаимного расположения всех зданий и сооружений, находящихся по соседству с рассматриваемым зданием. При этом противостоящие здания сложным образом влияют на распределение световых потоков внутри помещения. В статье рассмотрена относительная яркость фасада для здания, находящегося параллельно расположенному зданию в застройке. Приведен расчет коэффициента относительной яркости фасада для этого случая. Представленный в статье вывод коэффициента относительной яркости фасада параллельно стоящих зданий в городской П-образной застройке основан на учете трех составляющих, влияющих на его величину: составляющая коэффициента естественной освещенности (КЕО) на фасаде проектируемого здания под открытым небосводом с учетом отраженной составляющей от земной поверхности; составляющая КЕО на фасаде проектируемого здания в застройке от той части небосвода, которая экранируется противостоящими зданиями; коэффициент, учитывающий возрастание естественной освещенности на фасаде здания за счет многократного обмена отраженными потоками между фасадами зданий и участком земной поверхности, прилегающим к зданиям. На основе формул, отражающих метод расчета коэффициента относительной яркости фасада параллельно стоящих зданий в П-образной городской застройке, выполнен расчет средней относительной яркости фасада для данного типа городской застройки и приведена таблица с ее значениями.*

**Ключевые слова:** застройка, фасад, яркость, коэффициент относительной яркости, геометрический коэффициент естественной освещенности (КЕО), световой поток, многократные отражения.

**Для цитирования:** Земцов В.А., Шмаров И.А., Бражникова Л.В., Земцов В.В. Относительная яркость фасадов параллельно стоящих зданий в городской П-образной застройке // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-34-40>

V.A. ZEMTSOV, Candidate of Sciences (Engineering) (ins-es@yandex.ru), I.A. SHMAROV, Candidate of Sciences (Engineering) (shmarovigor@yandex.ru),  
L.V. BRAZHNIKOVA, Engineer (lab22niisf@yandex.ru), V.V. ZEMTSOV, Engineer (zemcov-v@yandex.ru)  
Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Relative Brightness of Facades of Parallel Buildings in Urban U-Shaped Development

The average brightness of the building facade depends on the decoration of the building, the albedo of the underlying surface adjacent to the building, the decoration and the mutual arrangement of all buildings and structures adjacent to the building in question. At the same time, opposing buildings in a complex way affect the distribution of light currents inside the room. The article considers the relative brightness of the facade for a building located parallel to the building in the development. The calculation of the relative brightness coefficient of the facade for this case is given. The calculation of the relative brightness coefficient of the facade for this case is given. The conclusion of the coefficient of relative brightness of the facade of parallel buildings in urban U-shaped urban development presented in the article is based on the consideration of three components that affect its value: KEO component on the facade of the designed building under open sky, taking into account the reflected component from the earth's surface; KEO component on the facade of the designed building in the development from that part of the skyline that is shielded by opposing buildings; a coefficient that takes into account the increase in natural illumination on the facade of the building due to the repeated exchange of reflected flows between the facades of the buildings and the section of the earth's surface adjacent to the buildings. Based on formulas reflecting the method of calculating the coefficient of relative brightness of the facade of parallel buildings in a U-shaped urban development, the calculation of the average relative brightness of the facade for this type of urban development was made, and a table with its values is given.

**Keywords:** development, facade, brightness, relative brightness factor, geometric KEO, luminous flux, multiple reflections.

**For citation:** Zemtsov V.A., Shmarov I.A., Brazhnikova L.V., Zemtsov V.V. Relative brightness of facades of parallel buildings in urban U-shaped development. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 7, pp. 34–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-34-40>

В П-образной застройке возможны два варианта расчета коэффициента относительной яркости (рис. 1):

*вариант 1* – для здания 1 (точка а), находящегося параллельно расположенному зданию в застройке;

*вариант 2* – для здания 4 (точка б), расположенного перпендикулярно двум параллельно стоящим зданиям.

Средняя яркость фасада здания зависит от отделки здания, альbedo подстилающей поверхности, прилегающей к зданию, отделки и взаимного расположения всех зданий и сооружений, находящихся по соседству с рассматриваемым зданием.

При этом противостоящие здания сложным образом влияют на распределение световых потоков внутри помещения [1, 2].

Коэффициент относительной яркости фасада, выраженный через КЕО [1], определяется как:

$$b_{\phi} = (e_n + e_o)\rho_{\phi} \quad (1)$$

Обозначив отношение  $(e_n + e_o)/e_n = \eta$ , формула (4) примет следующий вид:

$$b_{\phi} = \rho_{\phi}\eta e_n, \quad (2)$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий возрастание естественной освещенности на фасадах зданий за счет многократного обмена отраженными потоками между фасадами зданий и участком земной поверхности, примыкающим к зданиям;  $e_n$  – составляющая КЕО на фасаде от участков небосвода, не закрытых противостоящими зданиями;  $\rho_{\phi}$  – коэффициент отражения отделочного материала фасада здания (задается или заранее известен).

Следовательно, для расчета коэффициента относительной яркости необходимо иметь два параметра, входящих в формулу (2):

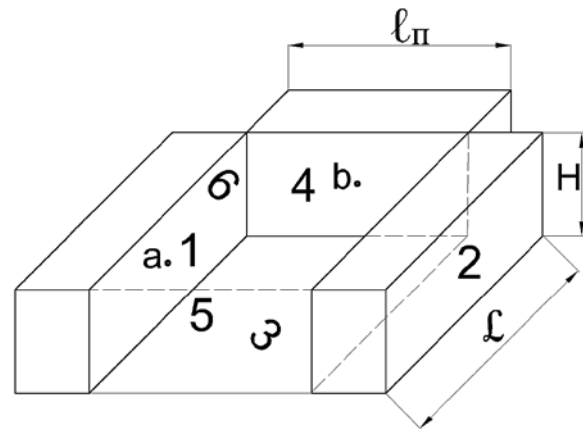
– коэффициент  $\eta$ , учитывающий возрастание естественной освещенности на фасадах зданий за счет многократного обмена отраженными потоками между фасадами зданий и участком земной поверхности, примыкающим к зданиям;

– составляющую КЕО на фасаде от участков небосвода, не закрытых противостоящими зданиями.

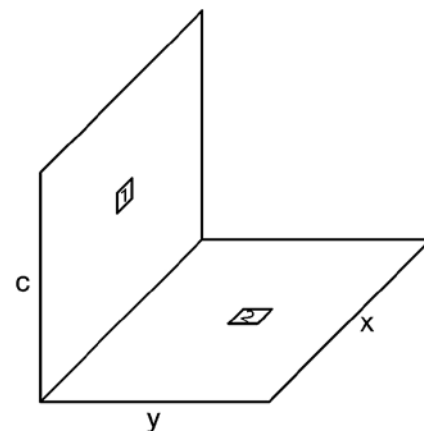
Вывод формулы для расчета составляющей КЕО на фасаде отдельно стоящего здания при открытом небосводе с учетом отраженной составляющей от земной поверхности представлен в [3] и имеет следующее значение:

$$e_a = \frac{3\pi + 8 + 7\pi\rho}{14\pi}, \quad (3)$$

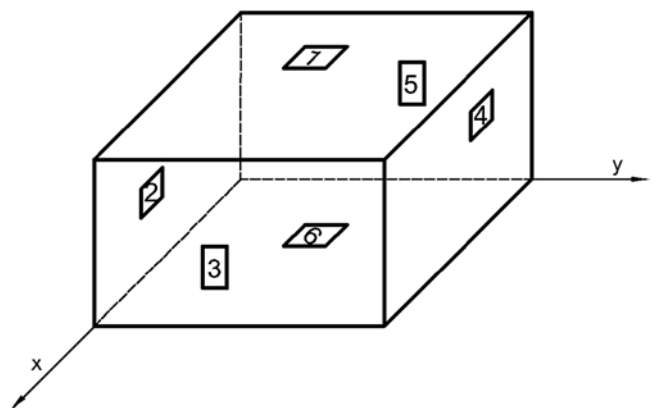
где  $\rho$  – коэффициент отражения земли, в проектной практике принимается, как правило, равным 0,2.



**Рис. 1.** Схема расположения противостоящих зданий в П-образной застройке: 1, 2 – фасады зданий; 3 – участок земной поверхности между зданиями; 5, 6 – площадь торцевой и верхней частей пространства между зданиями; H, L, L<sub>n</sub> – высота и длина зданий  
**Fig. 1.** Scheme of layout of opposing buildings in U-shaped buildings: 1, 2 – facades of buildings; 3 – land area between buildings; 5, 6 – area of the end and upper parts of the space between buildings; H, L, L<sub>n</sub> – height and length of buildings



**Рис. 2.** К расчету коэффициента связи между двумя взаимно перпендикулярными прямоугольниками  
**Fig. 2.** To calculation of the coupling coefficient between two mutually perpendicular rectangles



**Рис. 3.** К расчету коэффициента связи между двумя параллельными поверхностями прямоугольника  
**Fig. 3.** To calculation of the coupling coefficient between two parallel surfaces of a rectangle

В этой статье рассмотрим относительную яркость фасада для здания 1 (рис. 1, точка а), находящегося параллельно расположенному зданию в застройке (вариант 1).

**Коэффициент  $\eta$** , входящий в формулу (2), учитывающий возрастание естественной освещенности на фасаде здания за счет многократного обмена отраженными потоками между фасадами зданий и участком земной поверхности, примыкающим к зданиям, определяли исходя из следующих соображений.

В П-образной застройке с параллельно расположенными зданиями коэффициент относительной яркости фасада для здания 1 (точка а) может быть представлен следующей формулой:

$$b_{\phi 1} = \frac{\phi_1 \rho_{\phi}}{\pi S_1 L_{cp}} = \frac{\phi_1 \rho_{\phi}}{H L E_r}, \quad (4)$$

где  $\phi_1$  – световой поток, падающий на фасад здания 1 от неба, земной поверхности и зданий 2 и 4 после многократных отражений от поверхностей фасадов и участка земли между ними;  $\rho_{\phi}$  – коэффициент отражения и площадь фасада здания 1;  $H$  и  $L$  – высота и длина зданий;  $L_{cp}$  – средняя яркость облачного неба МКО;  $E_r$  – освещенность на открытой горизонтальной площадке от облачного неба МКО.

Из формулы (2)  $b_{\phi} = e_n \eta \rho_{\phi}$  и с учетом формулы (4):

$$\eta_1 = \frac{b_{\phi}}{e_{n1} \rho_{\phi}} = \frac{\phi_1 \rho_{\phi}}{e_{n1} \rho_{\phi} S_1 E_r} = \frac{\phi_1}{H L e_{n1} E_r}, \quad (5)$$

отсюда:

$$\phi_1 = \eta_1 H L e_{n1} E_r = \eta_1 \mathcal{F}_1, \quad (6)$$

где  $\mathcal{F}_1 = H L e_{n1} E_r$  – прямой световой поток от неба на фасад здания 1.

В общем виде световой поток  $\phi_{1-2}$ , падающий с поверхности  $S_1$  на поверхность  $S_2$  (рис. 1), может быть выражен равенством:

$$\phi_{1-2} = v_{1-2} \phi_1, \quad (7)$$

где  $v_{1-2}$  – коэффициент связи (или коэффициент облученности) между поверхностями  $S_1$  и  $S_2$ , представляет собой долю полного светового потока  $\phi_1$ , излучаемого поверхностью  $S_1$ , которая попадает на поверхность  $S_2$ .

При излучении по закону Ламберта коэффициент связи зависит только от взаимного расположения излучающей и освещаемой поверхностей.

Известные в настоящее время методы [4, 5] позволяют непосредственно определять световые потоки с одной поверхности на другую и коэффициенты связи между ними для простейших случаев расположения плоских поверхностей, которыми являются фасады зданий и участки земли между ними.

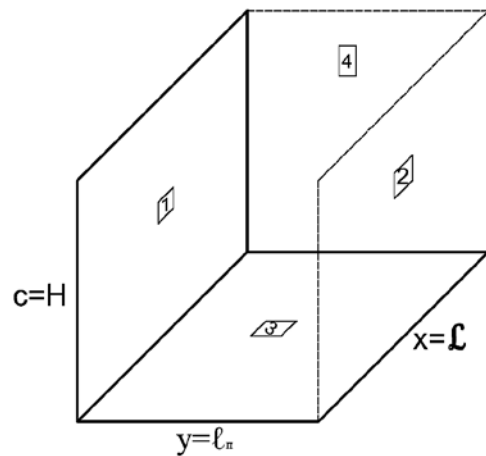


Рис. 4. Схема к расчету коэффициента связи между фасадом здания 1 и участком земной поверхности 3 между зданиями 1, 2, 4  
Fig. 4. Scheme for calculating the coupling coefficient between the facade of building 1 and the ground surface area 3 between buildings 1, 2, 4

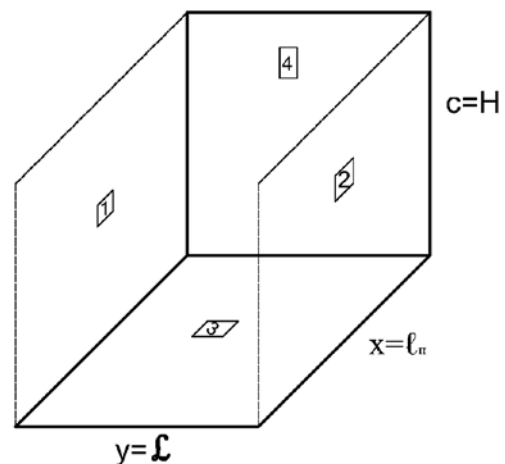


Рис. 5. Схема к расчету коэффициентов связи между фасадом здания 4 и участком земной поверхности 3 между зданиями 1, 2, 4  
Fig. 5. Scheme for calculating the coupling coefficient between the facade of building 4 and the ground surface area 3 between buildings 1, 2, 4

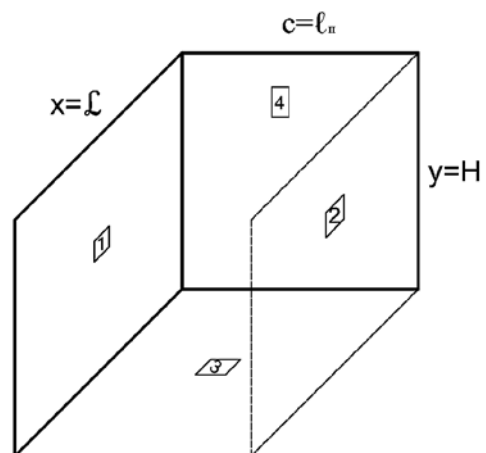


Рис. 6. Схема к расчету коэффициента связи между фасадом здания 4 и фасадом здания 1  
Fig. 6. Scheme for calculating the coupling coefficient between the facade of building 4 and the facade of building 1

Коэффициент связи граней параллелепипеда (фасады зданий), одна из которых перпендикулярна другой (рис. 2), имеет вид:

$$v_{1-2} = \frac{2x}{\pi y} [\Phi(\beta_1) - \Phi(\beta_2) + \Phi(\beta_3)], \quad (8)$$

где  $\beta_1 = \arctg \frac{a}{b}$ ;  $\beta_2 = \arctg \frac{a}{\sqrt{b^2+c^2}}$ ;  $\beta_3 = \arctg \frac{a}{c}$ ;

$$\Phi(\beta_i) = \frac{1}{2} \left( \beta_i \operatorname{tg} \beta_i + \frac{1}{2} \ln \cos \beta_i - \frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \beta_i \ln \sin \beta_i \right) \operatorname{ctg}^2 \beta_i \quad (9)$$

– функция Ламберта–Ямаути.

Выражение коэффициента связи между двумя параллельными поверхностями прямоугольника (рис. 3), которыми являются фасады двух параллельно расположенных зданий равных размеров, каждый из которых является ортогональной проекцией другого, имеет вид [4]:

$$v_{1-6} = \frac{4}{\pi} \left\{ \frac{x}{y} [\Phi(\beta_2) - \Phi(\beta_1)] + \frac{y}{x} [\Phi(\beta_4) - \Phi(\beta_5)] \right\}, \quad (10)$$

где  $\beta_1 = \arctg x$ ;  $\beta_2 = \arctg \frac{x}{\sqrt{1+y^2}}$ ;  $\beta_4 = \arctg \frac{y}{\sqrt{1+x^2}}$ ;  $\beta_5 = \arctg y$ .

Коэффициенты связи между системой граней параллелепипеда (между фасадами зданий и прилегающей земной поверхностью) определяются в процессе решения системы уравнений.

Зная коэффициент связи между двумя поверхностями, можно определить световой поток, падающий с одной поверхности на другую или определить световой поток, падающий на одну поверхность с системы поверхностей.

Оценка освещения обычно делается по помещению, которое будет иметь наименьшую освещенность. Наименьшую освещенность в нашем случае будут иметь помещения, расположенные на первом этаже в середине зданий 1, 2 и 4 (рис. 1).

Для этих помещений земную поверхность можно ограничить участком, лежащим между зданиями. Без ущерба для точности окончательных результатов можно принять, что световые потоки, вышедшие через сечения 5, 6, обратно не возвращаются, или  $\rho_5 = \rho_6 = 0$ .

В силу симметрии световые потоки, поступающие на фасады 1 и 2 (рис. 1), равны:  $\phi_1 = \phi_2$ .

Коэффициенты отражения фасадов приняты одинаковыми для всех зданий застройки:  $\rho_1 = \rho_2 = \rho_4$ .

С достаточной точностью для практических расчетов можно принять следующее:

$$\phi_1 \rho_1 v_{1-3} = \phi_2 \rho_1 v_{2-3} = \phi_4 \rho_1 v_{4-3}, \quad (11)$$

где  $v_{1-3}$  – коэффициент использования фасада здания 1 относительно земной поверхности;  $v_{2-3}$  – коэффициент использования фасада здания 2 относительно земной поверхности;  $v_{4-3}$  – коэффициент

использования фасада здания 4 относительно земной поверхности, тогда  $\phi_3 = \phi_3 + 3\phi_1 \rho_1 v_{1-3}$ .

На основе принятых допущений получаем следующую систему уравнений:

$$\phi_2 = \phi_1 = \phi_1 + \phi_1 \rho_1 v_{1-2} + \phi_3 \rho_3 v_{3-1} + \phi_4 \rho_1 v_{4-1} \quad (1)$$

$$\phi_3 = \phi_3 + 3\phi_1 \rho_1 v_{1-3} \quad (2)$$

$$\phi_4 = \phi_4 + 2\phi_1 \rho_1 v_{1-4} + \phi_3 \rho_3 v_{3-4}. \quad (3) \quad (12)$$

Решая систему уравнений (12) относительно  $\phi_1$ , получим:

$$\phi_1 = \frac{\phi_1 + \phi_3 \rho_3 (v_{3-1} + \rho_1 v_{3-4} v_{4-1}) + \phi_4 \rho_1 v_{4-1}}{1 - (\rho_1 v_{1-2} + 3\rho_1 \rho_3 v_{1-3} v_{3-1} + 2\rho_1^2 v_{1-4} v_{4-1} + 3\rho_1^2 \rho_3 v_{1-3} v_{3-4} v_{4-1})}. \quad (13)$$

Подставляем в уравнение (13) значения прямых потоков от неба на фасады зданий (рис. 1):

$$\phi_2 = \phi_1 = e_1 E_r \mathcal{L} H$$

$$\phi_4 = e_4 E_r \ell_{\Pi} H$$

$$\phi_3 = 2e_1 E_r \mathcal{L} \ell_{\Pi}$$

и делим обе части уравнения на  $\phi_1 = e_1 E_r \mathcal{L} H$ :

$$\eta_1 = \frac{1 + 2\frac{\ell_{\Pi}}{H} \rho_3 (v_{3-1} + \rho_1 v_{3-4} v_{4-1}) + \frac{e_4 \ell_{\Pi}}{e_1 \mathcal{L}} \rho_1 v_{4-1}}{1 - \rho_1 [v_{1-2} + 3\rho_3 v_{1-3} (v_{3-1} + \rho_1 v_{3-4} v_{4-1}) + 2\rho_1 v_{1-4} v_{4-1}]}. \quad (14)$$

Учитывая, что  $v_{3-1} \mathcal{L} \ell_{\Pi} = v_{1-3} \mathcal{L} H$ ,  $v_{3-1} = v_{1-3} \frac{H}{\ell_{\Pi}}$ , что  $v_{1-4} \mathcal{L} H = v_{4-1} \ell_{\Pi} H$ ,  $v_{1-4} = v_{4-1} \frac{\ell_{\Pi}}{\mathcal{L}}$ , и что  $v_{3-4} \mathcal{L} \ell_{\Pi} = v_{4-3} \ell_{\Pi} H$ ,  $v_{3-4} = v_{4-3} \frac{H}{\mathcal{L}}$ , окончательно получаем:

$$\eta = \eta_1 = \frac{1 + 2\rho_3 (v_{1-3} + \rho_1 v_{4-3} v_{4-1} \frac{\ell_{\Pi}}{\mathcal{L}}) + \frac{e_4 \ell_{\Pi}}{e_1 \mathcal{L}} \rho_1 v_{4-1}}{1 - \rho_1 [v_{1-2} + 3\rho_3 v_{1-3} (v_{1-3} + \rho_1 v_{4-3} v_{4-1} \frac{\ell_{\Pi}}{\mathcal{L}}) + 2\rho_1 v_{4-1} \frac{2\ell_{\Pi}}{\mathcal{L}}]}. \quad (15)$$

В соответствии с формулой (8) и рисунком (рис. 4): – коэффициент связи между фасадом здания 1 и участком земной поверхности 3 между зданиями 1, 2, 4 будет равен:

$$v_{1-3} = \frac{2}{\pi} [\Phi(\gamma_5) + \Phi(\gamma_6) - \Phi(\gamma_7)], \quad (16)$$

где  $\gamma_5 = \arctg \frac{\mathcal{L}}{\ell_{\Pi}}$ ;  $\gamma_7 = \arctg \frac{\mathcal{L}}{\sqrt{\ell_{\Pi}^2 + H^2}}$ ;  $\gamma_6 = \arctg \frac{\mathcal{L}}{H}$ ;

– коэффициент связи между фасадом здания 4 и участком земной поверхности 3 между зданиями 1, 2, 4 будет равен (рис. 5):

$$v_{4-3} = \frac{2}{\pi} [\phi(\gamma_1) + \phi(\gamma_9) - \phi(\gamma_2)], \quad (17)$$

где  $\gamma_1 = \arctg \frac{\ell_{\Pi}}{\mathcal{L}}$ ;  $\gamma_2 = \arctg \frac{\ell_{\Pi}}{\sqrt{\mathcal{L}^2 + H^2}}$ ;  $\gamma_9 = \arctg \frac{\ell_{\Pi}}{H}$ ;

– коэффициент связи между фасадом здания 4 и фасадом здания 1 будет равен (рис. 6):

$$v_{4-1} = \frac{2c}{\pi} [\Phi(\gamma_3) + \Phi(\gamma_8) - \Phi(\gamma_4)], \quad (18)$$

где  $\gamma_3 = \arctg \frac{H}{\mathcal{L}}$ ;  $\gamma_4 = \arctg \frac{H}{\sqrt{\mathcal{L}^2 + \ell_{\Pi}^2}}$ ;  $\gamma_8 = \arctg \frac{H}{\ell_{\Pi}}$ .

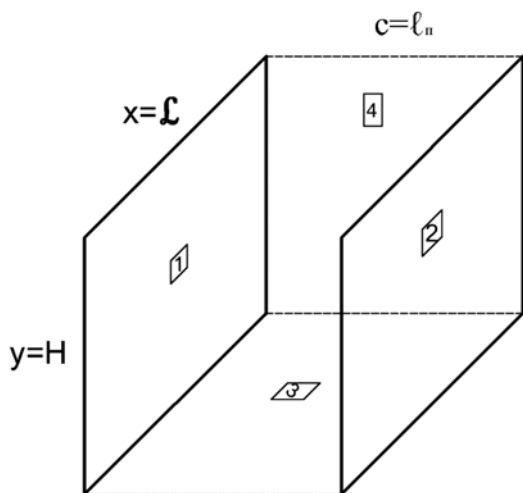


Рис. 7. Схемы к расчету коэффициентов связи между фасадами здания 1 и здания 2

Fig. 7. Schemes for calculating the coupling coefficient between the facades of building 1 and building 2

В соответствии с формулой (10) и рисунком (рис. 7) коэффициент связи между фасадом здания 1 и фасадом здания 2 будет равен:

$$v_{1-2} = \frac{4}{\pi} \left\{ \frac{1}{a} [\Phi(\gamma_5) - \Phi(\gamma_7)] + a [\Phi(\gamma_8) - \Phi(\gamma_4)] \right\}, \quad (19)$$

где  $\gamma_5 = \arctg \frac{L}{l_n}$ ;  $\gamma_7 = \arctg \frac{L}{\sqrt{l_n^2 + H^2}}$ ;  $\gamma_8 = \arctg \frac{H}{l_n}$ ;  
 $\gamma_4 = \arctg \frac{H}{\sqrt{L^2 + l_n^2}}$

**Прямая составляющая КЕО ( $e_n$ ) на фасаде исследуемого здания 1 от части небосвода, не закрытого рядом стоящими зданиями.** Прямую составляющую КЕО на фасаде от участка небосвода, не закрытого противостоящими зданиями в застройке, для конкретного здания можно определить как разность КЕО на фасаде этого конкретного здания от небосвода, свободного от зданий окружающей застройки, и суммы прямых составляющих КЕО на фасаде от той части неба, которая экранируется зданиями окружающей застройки.

**Прямая составляющая КЕО от части неба на фасаде здания 1, которая экранируется зданием 4.** Применительно к конкретному зданию (рис. 1), прямая составляющая КЕО в точке а для здания 1 будет равна прямой составляющей КЕО в точке а при открытом небосводе за минусом прямой составляющей КЕО в точке а от той части неба, которая экранируется перпендикулярно расположенным зданием 4 прилегающей застройки.

Для вывода уравнения для расчета прямой составляющей КЕО на фасаде здания, закрытого перпендикулярно расположенным зданием прилегающей застройки, воспользуемся формулой для расчета естественного освещения, создаваемого световыми

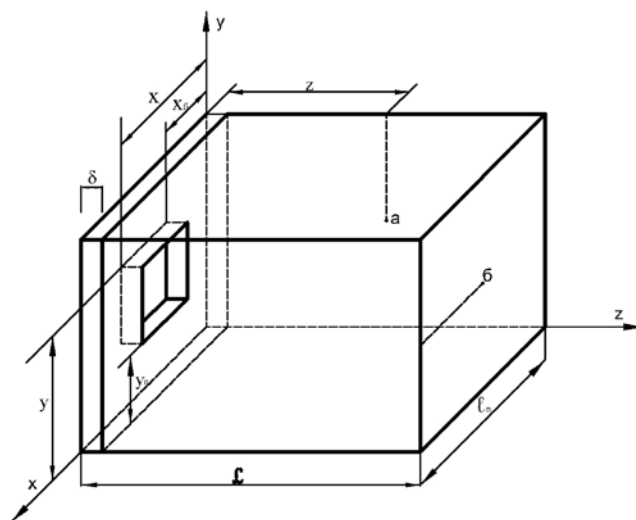


Рис. 8. Схема расположения расчетных точек по отношению к световому проему: а – на боковой стенке; б – на задней стенке  
 Fig. 8. Scheme of layout of calculation points in relation to the light opening: а – on the side wall; б – on the back wall

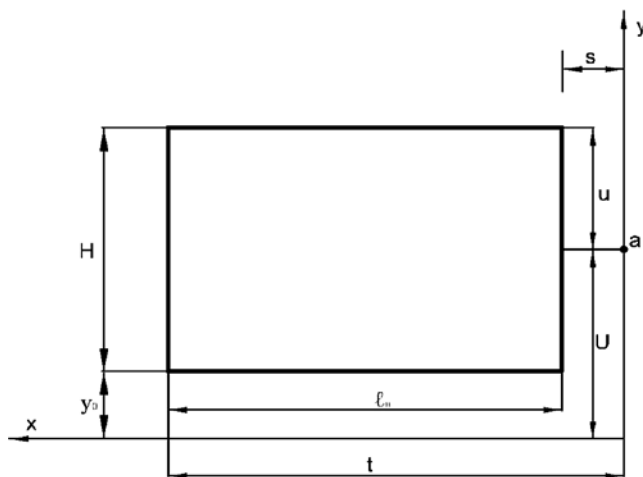


Рис. 9. Схема положения точки б по отношению к световому проему:  $y_0$  – высота подоконника; S, t – расстояние проекции точки б от правой и левой вертикальных граней проема; u, U – расстояние проекции точки б от верхней и нижней граней проема;  $\rho$  – коэффициент отражения земной поверхности

Fig. 9. Scheme of the position of point b in relation to the light opening:  $y_0$  – the height of the window sill; S, t – the projection distance of point b from the right and left vertical faces of the opening; u, U – the projection distance of point b from the upper and lower faces of the opening;  $\rho$  – the reflection coefficient of the earth's surface

потоками, поступающими в помещение от светового проема на стену, противоположную окну [6, 9]:

$$e_a^4 = \sum_{i=1}^4 (-1)^{i+1} P_i \frac{z}{\sqrt{m_i^2 + z^2}} \arctg \frac{n_i}{\sqrt{m_i^2 + z^2}} + \sum_{i=5}^6 (-1)^{i+1} P_i \frac{z}{\sqrt{m_i^2 + z^2}} \left( 1 - \frac{\sqrt{m_i^2 + z^2}}{\sqrt{m_i^2 + n_i^2 + z^2}} \right), \quad (20)$$

где переменные представлены в табличной форме (табл. 1).



Таблица 1  
Table 1

Переменные параметры (рис. 8), входящие в формулу (1)  
Variable parameters (Fig. 8) included in the formula (1)

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6
<i>P<sub>i</sub></i>	3/14π	3/14π	ρ/2π	ρ/2π	2/7π	2/7π
<i>m<sub>i</sub></i>	<i>S<sub>i</sub></i>	<i>t</i>	<i>S<sub>i</sub></i>	<i>t</i>	<i>S<sub>i</sub></i>	<i>t</i>
<i>n<sub>i</sub></i>	<i>u</i>	<i>u</i>	<i>U</i>	<i>U</i>	<i>u</i>	<i>u</i>

В нашем случае  $S=0; y_0=0; t=l_{\Pi}; u=U=H/2; H$  – высота зданий,  $Z=L/2; l_{\Pi}$  – длина здания 1.

После подстановки значений переменных в формулу (20) и приведения подобных членов имеем:

$$e_a^4 = \frac{3+7\rho}{14\pi} \left( \arctg \frac{H}{L} - \frac{L}{\sqrt{4l_{\Pi}^2+L^2}} \arctg \frac{H}{\sqrt{4l_{\Pi}^2+L^2}} \right) + \frac{2}{7\pi} \left( 1 - \frac{L}{\sqrt{4l_{\Pi}^2+L^2}} - \frac{L}{\sqrt{H^2+L^2}} + \frac{L}{\sqrt{4l_{\Pi}^2+H^2+L^2}} \right). \quad (21)$$

Разделим числитель и знаменатель на  $L$  и обозначим:  $a = \frac{H}{L}; b = \frac{l_{\Pi}}{L}$ .

$$e_a^4 = \frac{3+7\rho}{14\pi} \left( \arctg \frac{H}{L} - \frac{L}{\sqrt{4l_{\Pi}^2+L^2}} \arctg \frac{H}{\sqrt{4l_{\Pi}^2+L^2}} \right) + \frac{2}{7\pi} \left( 1 - \frac{L}{\sqrt{4l_{\Pi}^2+L^2}} - \frac{L}{\sqrt{H^2+L^2}} + \frac{L}{\sqrt{4l_{\Pi}^2+H^2+L^2}} \right). \quad (22)$$

Прямая составляющая КЕО от той части неба на фасаде здания 1, которая экранируется зданием 2 (рис. 1):

$$e_a^2 = \frac{1}{\pi} \left( \rho + \frac{3}{7} \right) \left( \frac{H}{\sqrt{H^2+4l_{\Pi}^2}} \arctg \frac{L}{\sqrt{H^2+4l_{\Pi}^2}} + \frac{L}{\sqrt{L^2+4l_{\Pi}^2}} \arctg \frac{H}{\sqrt{L^2+4l_{\Pi}^2}} \right) + \frac{4}{7\pi} \left( 1 - \frac{4l_{\Pi}^2 \sqrt{L^2+4l_{\Pi}^2}}{(H^2+4l_{\Pi}^2) \sqrt{L^2+H^2+4l_{\Pi}^2}} \right). \quad (23)$$

Примечание. Вывод формулы (23) см. [3].

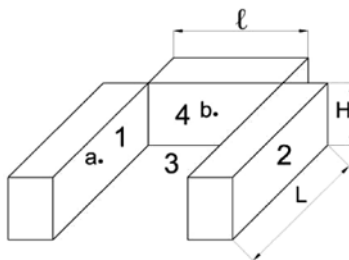
Разделим числитель и знаменатель на  $l_{\Pi}$  и обозначим:  $a = \frac{H}{L}; b = \frac{l_{\Pi}}{L}; c = \frac{H}{l_{\Pi}}; \frac{L}{l_{\Pi}} = \frac{1}{b}$ .

$$e_a^2 = \frac{7\rho+3}{14\pi} \left( \frac{2c}{\sqrt{4+c^2}} \arctg \frac{1}{b\sqrt{4+c^2}} + \frac{2}{\sqrt{1+4b^2}} \arctg \frac{a}{\sqrt{1+4b^2}} \right) + \frac{2}{7\pi} \left( 2 - \frac{8\sqrt{1+4b^2}}{(4+c^2)\sqrt{1+a^2+4b^2}} \right). \quad (24)$$

Суммарное значение КЕО в точке а здания 1 от участка неба, экранируемого зданиями 2 и 4:

Таблица 2  
Table 2

Значения средней относительной яркости  $b_{\Phi}$  фасада здания 1 (точка а) в П-образной городской застройке  
Values of the average relative brightness,  $b$ , of the building facade 1 (point a) in a U-shaped urban development



Средневзвешенный коэффициент отражения фасада $\rho_{\Phi}$	Отношение расстояния между зданиями $l$ к длине противостоящего здания $\alpha$	Значение средней относительной яркости фасада $b_{\Phi}$ противостоящего здания при отношении длины противостоящего здания $\alpha$ к его расчетной высоте $H_p$						
		0,25 и менее	0,5	1	1,5	2	3	4 и более
0,6	2 и более	0,18	0,26	0,32	0,35	0,36	0,37	0,38
0,6	1	0,08	0,17	0,28	0,32	0,34	0,36	0,37
0,5	2 и более	0,14	0,2	0,26	0,28	0,29	0,3	0,31
0,5	1	0,06	0,13	0,22	0,26	0,28	0,3	0,3
0,4	2 и более	0,1	0,15	0,2	0,22	0,23	0,24	0,24
0,4	1	0,04	0,09	0,17	0,2	0,21	0,23	0,24
0,3	2 и более	0,07	0,11	0,14	0,16	0,17	0,18	0,18
0,3	1	0,03	0,07	0,12	0,14	0,16	0,17	0,17
0,2	2 и более	0,04	0,07	0,09	0,1	0,11	0,11	0,12
0,2	1	0,02	0,04	0,08	0,09	0,1	0,11	0,11

$$e_a^4 + e_a^2 = \frac{7\rho+3}{14\pi} \left( \arctg a + \frac{2c}{\sqrt{4+c^2}} \arctg \frac{1}{b\sqrt{4+c^2}} + \frac{1}{\sqrt{1+4b^2}} \arctg \frac{a}{\sqrt{1+4b^2}} \right) + \frac{2}{7\pi} \left( 3 - \frac{1}{\sqrt{1+a^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+4b^2}} + \frac{1}{\sqrt{1+a^2+4b^2}} - \frac{8\sqrt{1+4b^2}}{(4+c^2)\sqrt{1+a^2+4b^2}} \right). \quad (25)$$

Обозначим:  $x = \sqrt{4+c^2}$ ;  $y = \sqrt{1+4b^2}$ .  
Тогда:

$$e_a^4 + e_a^2 = \frac{7\rho+3}{14\pi} \left( \arctg a + \frac{2c}{x} \arctg \frac{1}{yb} + \frac{1}{y} \arctg \frac{a}{y} \right) + \frac{2}{7\pi} \left( 3 + \frac{1}{\sqrt{y^2+a^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+a^2}} - \frac{1}{y} - \frac{8y}{x^2\sqrt{y^2+a^2}} \right), \quad (26)$$

где  $a = \frac{H}{L}$ ;  $b = \frac{l_n}{L}$ ;  $c = \frac{H}{l_n}$ .

Или окончательно:

$$e_n = e_a^4 + e_a^2 = \frac{7\rho+3}{14\pi} \left( \arctg a + \frac{2c}{x} \arctg \frac{1}{yb} + \frac{1}{y} \arctg \frac{a}{y} \right) + \frac{2}{7\pi} \left[ 3 + \frac{1}{\sqrt{y^2+a^2}} - \left( \frac{1}{\sqrt{1+a^2}} + \frac{1}{y} + \frac{8y}{x^2\sqrt{y^2+a^2}} \right) \right]. \quad (27)$$

Коэффициент относительной яркости определяется на основании формулы (2) с учетом формул (15) – (19) и (27). Пример результатов расчета представлен в табл. 2.

### Список литературы

1. Миронова Л.Н. Расчет коэффициента яркости затеняющей застройки // *Светотехника*. 1969. № 3. С. 14–18.
2. Киреев Н.Н. Развитие теоретических методов определения отраженной составляющей естественного освещения помещений // *Светотехника*. 1982. № 2. С. 4–6.
3. Земцов В.А., Шмаров И.А., Земцов В.В. Коэффициент относительной яркости фасадов с параллельным расположением зданий // *БСТ*. 2019. № 6. С. 52–54.
4. Земцов В.А., Шмаров И.А., Земцов В.В. Коэффициент неравномерной яркости стандартного облачного неба МКО в новых национальных стандартах // *БСТ*. 2018. № 6 (1006). С. 12–14.
5. Сапожников Р.А. Теоретическая фотометрия. М.: Энергия, 1977. 127 р.
6. Мешков В.В., Епанешников М.М. Осветительные установки. М.: Энергия, 1972. 225 р.
7. Киреев Н.Н. Аналитическая интерпретация влияния противостоящих зданий на естественное освещение помещений. *Сборник трудов НИИСФ. Актуальные проблемы строительной светотехники*. М.: НИИСФ, 1985. С. 59–65.
8. Киреев Н.Н. Расчет естественного освещения помещений при наличии противостоящих зданий. *Сборник трудов НИИСФ. Вопросы качества естественного и искусственного освещения зданий*. М.: НИИСФ, 1980. С. 64–69.
9. Земцов В.А., Коркина Е.В., Шмаров И.А., Земцов В.В. Влияние фасадных элементов на инсоляционный режим помещений гражданских зданий // *Жилищное строительство*. 2019. № 6. С. 16–23. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-6-16-23>

### References

1. Mironova L.N. Calculation of brightness factor of shading building. *Svetotekhnika*. 1969. No. 3, pp. 14–18. (In Russian).
2. Kireev N.N. Development of theoretical methods of determining the reflected component of natural lighting of premises. *Svetotekhnika*. 1982. No. 2, pp. 4–6. (In Russian).
3. Zemtsov V.A., Shmarov I.A., Zemtsov V.V. Coefficient of relative brightness of facades with parallel location of buildings. *BST*. 2019. No. 6, pp. 52–54. (In Russian).
4. Zemtsov V.A., Shmarov I.A., Zemtsov V.V. Coefficient of uneven brightness of the standard cloud sky of the MKO in the new national standards. *BST*. 2018. No. 6, pp. 12–14. (In Russian).
5. Sapozhnikov R.A. Teoreticheskaya fotometriya [Theoretical photometry]. Moscow: Energiya, 1977. 127 p.
6. Meshkov V.V., Epaneshnikov M.M. Osvetitel'nye ustanovki [Lighting Installations]. Moscow: Energiya, 1972. 225 p.
7. Kireev N.N. Analytical interpretation of the influence of opposing buildings on natural lighting of premises. *Collection of works of NIISF. Topical problems of construction light engineering*. Moscow: NIISF. 1985, pp. 59–65.
8. Kireev N.N. Calculation of natural lighting of premises in the presence of opposing buildings. *Collection of works of NIISF. Quality issues of natural and artificial lighting of buildings*. Moscow: NIISF. 1980, pp. 64–69.
9. Zemtsov V.A., Korкина E.V., Shmarov I.A., Zemtsov V.V. Influence of the façade elements on insolation regime of the premises of civil buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 6, pp. 16–23. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-6-16-23>

УДК 624.191.94

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-41-51>

Е.В. ЛЕВИН<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук (aqwsrv@list.ru); А.Ю. ОКУНЕВ<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук  
(127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

<sup>2</sup> Государственный университет по землеустройству (105064, г. Москва, ул. Казакова, 15)

## Качество воздуха в жилых и общественных зданиях. Роль вентиляционного воздухообмена

*Приведены результаты исследования качества воздуха в жилых и общественных помещениях в реальных условиях их загрязнения, учитывающих поступления вредных веществ с вентиляционным воздухом и за счет эмиссии внутри помещений материалами и людьми. Используются данные по загрязнению наружной атмосферы по Московскому региону. В рамках исследований показано, что в загрязненности воздуха помещений основную роль играют газообразные продукты, выделяемые людьми, в первую очередь аммиак, который также присутствует в наружном воздухе. Аммиак оказывается даже более эффективным индикатором загрязнения, чем углекислый газ, который традиционно считался таковым. На примерах различных режимов эксплуатации помещений показано влияние вентиляционного воздухообмена на качество воздуха. Так, в периоды отсутствия людей вентиляцию выгодно эксплуатировать с минимальным расходом воздуха, а адаптивная (саморегулирующаяся) вентиляция наиболее выгодна, когда количество людей в помещении меняется во времени. В работе предложен новый индекс оценки качества воздуха, который также может быть использован как индекс общего негативного воздействия на организм человека со стороны внешних факторов (качество воздуха, акустические, электромагнитные и другие воздействия). Показаны соотношения между величинами этого индекса и традиционным комплексным индексом загрязнения атмосферы несколькими примесями.*

**Ключевые слова:** качество воздуха, загрязнения, предельно допустимая концентрация, концентрация, индекс загрязненности, вентиляция, аммиак, диоксид углерода.

**Для цитирования:** Левин Е.В., Окунев А.Ю. Качество воздуха в жилых и общественных зданиях. Роль вентиляционного воздухообмена // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 41–51.  
DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-41-51>

E.V. LEVIN<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics) (aqwsrv@list.ru); A.Yu. OKUNEV<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics)

<sup>1</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivnyi Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

<sup>2</sup> State University of Land Use Planning (15, Kazakova Street, Moscow, 105064, Russian Federation)

### Air Quality in Residential and Public Buildings. Ventilation Air Exchange Role

Investigations results of air quality in residential and public buildings in real conditions of pollution are shown. Impurities due to addictions with inlet air, emission in room from materials and people are had taken into account. Data on outdoor air pollution in the Moscow region are used. The research shows that indoor air pollutions are mostly gas products produced by people, firstly ammonia, which also exists in outdoor air. Ammonia turns out to be an even more effective indicator of pollution than carbon dioxide, which has traditionally been considered such. With examples of different room exploitation regimes ventilation air exchange influence on air quality is shown. Thus in periods without people in room beneficially to minimize air exchange and adaptive (self-regulating) ventilation is most beneficial for rooms when the number of people in a room changes over time. The paper proposes a new air quality assessment index, which can also be used as an index of the overall negative impact on the human body from external factors (air quality, acoustic, electromagnetic and other influences). Relationships between the values of this index and the traditional complex index of air pollution with several impurities are shown.

**Keywords:** air quality, pollution, maximum permitted concentration, concentration, pollution index, ventilation, ammonia, carbon dioxide.

**For citation:** Levin E.V., Okunev A.Yu. Air quality in residential and public buildings. Ventilation air exchange role. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 7, pp. 41–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-41-51>

Современный человек большую часть жизни проводит в замкнутых помещениях, где подвергается различным негативным воздействиям, к одному из которых относится загрязнение воздуха. Воздух для дыхания формируется из наружного атмосферного воздуха, который несет с собой множество химиче-

ских примесей и пыль, являющиеся вредными для здоровья. Особенно это проявляется в условиях городской среды, включающей множество источников загрязнения. Кроме того, внутренний воздух помещений постоянно загрязняется продуктами метаболизма самого человека и домашних животных, а также

летучими веществами, выделяемыми внутренней отделкой, мебелью, бытовой техникой и пр. Качество воздуха, способы его оценки и расчета, а также изучение факторов, влияющих на качество, вот уже в течение более ста лет являются предметом многочисленных исследований, среди которых на первом месте стоят вопросы глобального и локального загрязнения атмосферы и его мониторинга [1–6]. В последние годы все большее внимание уделяется вопросам загрязнения внутреннего воздуха помещений [7–10] и влиянию загрязнения на здоровье человека [11–13]. При этом в исследованиях особое значение в борьбе за качество воздуха отводится вентиляционному воздухообмену [14–18]. Что касается критериев качества воздуха, то наиболее общим и далеко не всегда выполнимым является критерий того, что содержание примеси в воздухе не должно превышать предельно допустимую среднесуточную концентрацию *ПДКсс* (далее *ПДК*). В настоящее время наиболее полные данные по величинам *ПДК* и классам опасности различных химических веществ приведены в ГН 2.1.6.3492–17 «Предельно допустимые концентрации (*ПДК*) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений». Если в воздухе содержится несколько вредных примесей, то ряд документов требует того, чтобы сумма их концентраций, отнесенных к *ПДК*, также не превышала единицу. На практике это во многих случаях трудно выполнимо, поскольку таких примесей может быть большое количество.

Что касается нормирования качества воздуха в помещениях, то в настоящее время ситуация там имеет следующий вид [19]. В помещениях жилых и общественных зданий качество воздуха регламентируется ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Основное содержание этого документа таково, что он фактически вводит четыре категории качества воздуха и критерии, по которым присваиваются эти категории. В ГОСТ 30494–2011 указывается, что категории качества воздуха должны определяться по содержанию в нем индикаторного газа, в качестве которого должен быть использован углекислый газ. Более того, содержание других загрязнений также может участвовать в оценке качества, для чего оно должно приводиться к эквивалентному содержанию углекислого газа. Правда, указания, каким образом устанавливаются эти эквивалентные соотношения, ГОСТ 30494–2011 не содержит. В нем имеется ссылка на ГОСТ Р ЕН 13779–2007 «Вентиляция в жилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования», но этот документ соответствующих указаний также не содержит. Т. е., фактически, пользуясь ГОСТ 30494–2011 в тех слу-

чаях, когда кроме углекислого газа в воздухе имеются и другие вредные примеси, установить категорию качества воздуха помещения невозможно. А если учесть, что такие примеси существуют всегда (поступления загрязнений с вентиляционным воздухом и из внутренних источников), то этот нормативный документ в принципе не может быть использован для оценок качества воздуха в помещениях. Единственной важной для практики информацией является то, что ГОСТ 30494–2011 указывает в виде способа регулирования качества воздуха использование приточной вентиляции и отсылает к ГОСТ Р ЕН 13779, в котором устанавливаются соотношения между интенсивностью вентиляции и категорией качества воздуха. Однако ГОСТ Р ЕН 13779 также не позволяет оценить качество воздуха помещения, загрязненного несколькими примесями одновременно.

Выход из сложившейся ситуации дает СанПиН 2.1.2.2645 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях», который сам по себе не содержит никаких критериев по качеству воздуха в помещениях зданий в процессе их эксплуатации, но зато имеет одно важное указание, позволяющее проводить оценку качества воздуха по нормативам, установленным для наружной атмосферы населенных мест. В СанПиН 2.1.2.2645 говорится, что концентрации химических веществ в воздухе помещений не должны превышать *ПДК*, устанавливаемые ГН 2.1.6.3492. Это может расцениваться так, что и оценки качества воздуха допустимо делать на основе методик, введенных для атмосферы населенных мест, по крайней мере до тех пор, пока соответствующие методики не будут разработаны и узаконены для помещений жилых и общественных зданий. Для воздуха населенных мест в настоящее время уже разработаны и широко используются на практике объективные и эффективные методики расчета и оценки качества воздуха. Для примера можно привести документ РД 52.04.667–2005 «Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию», в котором содержится описание и расчетные формулы для нескольких индексов загрязнения, используемых для определения уровня загрязненности атмосферы. Используемые методики не имеют ограничений на количество загрязняющих веществ и их химический состав.

В настоящей статье приведены результаты исследования качества воздуха в жилых и общественных помещениях в модельных условиях загрязнения, учитывающих поступления вредных веществ с вентиляционным воздухом и их эмиссию внутри помещений

отделочными материалами и за счет жизнедеятельности людей. В качестве загрязнений наружной атмосферы использованы данные по Московскому региону за 2018 г. Данные по эмиссии отделочных материалов получены из протоколов испытаний в лабораториях НИИСФ за прошлые годы. Основной целью проведенных исследований было показать, какие вещества могут быть основными загрязнителями в условиях сравнительно благополучного в экологическом отношении крупного города на примере Москвы и какие уровни загрязнения реализуются на практике. Целью также является показать влияние вентиляционного воздухообмена на загрязненность помещений. При исследованиях рассматривались варианты постоянного и переменного во времени присутствия людей в помещениях и использования переменного вентиляционного воздухообмена в зависимости от присутствия людей. Исследования выполнены с помощью численного моделирования нестационарного массопереноса.

*Основные положения и данные, использованные при проведении исследований.* При проведении исследований использована методика определения индексов загрязнения и критериев качества воздуха, содержащаяся в РД 52.04.667. Эта методика позволяет рассчитать основные характеристики загрязненности:

- среднегодовой стандартный индекс загрязнения  $i$ -й вредной примесью ( $СИ_i$ );
- индекс загрязнения атмосферы  $i$ -й вредной примесью ( $ИЗА_i$ );
- комплексный индекс загрязнения атмосферы несколькими примесями ( $ИЗА^S$ );
- наибольшая повторяемость превышения предельно допустимой концентрации ( $НП_i$ ).

Расчет указанных индексов проводится по следующим формулам:

$$СИ_i = c_i^{\max} / ПДК_{cc}^i; \quad (1)$$

$$ИЗА_i = (\bar{c}_i / ПДК_{cc}^i)^{\alpha_i}, \quad (2)$$

где  $c_i^{\max}$  и  $\bar{c}_i$  – максимальное и среднегодовое значения концентрации  $i$ -й вредной примеси. Коэффициенты  $\alpha_i$  приводят индекс вредности данной примеси к вредности диоксида серы и зависят от класса опасности вещества. Коэффициенты  $\alpha_i$  принимают значения 1,5; 1,3; 1; 0,85 соответственно для 1, 2, 3 и 4-го классов опасности. Комплексный индекс загрязнения вычисляется как сумма:

$$ИЗА^S = \sum_i ИЗА_i = \sum_i (\bar{c}_i / ПДК_{cc}^i)^{\alpha_i}. \quad (3)$$

Индекс  $НП_i$  рассчитывается как доля времени повторяемости превышения концентрацией предельно

допустимого значения и выражается в процентах. Время повторяемости соответствует количеству измерений на посту наблюдений.

В соответствии с существующими методами оценки уровень рассчитывается по данным, приведенным в табл. 1.

Если  $ИЗА$ ,  $СИ$  и  $НП$  попадают в разные градации, то степень загрязнения атмосферы оценивается по  $ИЗА$ .

Поскольку в настоящих исследованиях использована расчетная модель, которая не включает в себя дискретные данные, а использует среднегодовые данные по данному региону, индекс повторяемости для определения уровня загрязнения не используется. По той же причине не используется стандартный индекс загрязнения (1) и оценка уровня загрязнения проводится только по индексу  $ИЗА^S$ .

Необходимо отметить два недостатка, присущие данной методике. Первый из них состоит в том, что при оценке уровня загрязнения используется шкала интервалов с разрывами, например, от 0 до 4 и сразу за ней от 5 до 6. Это означает, что, например, если комплексный индекс  $ИЗА^S$  оказался равным 4,5, то непонятно, какой это уровень – низкий или повышенный. Второй недостаток связан с используемыми формулами (2) и (3). В этих формулах показатель степени  $\alpha_i$  тем больше, чем более опасным является данное вещество. Он меньше единицы только для самых безопасных веществ с классом 4. Это означает, что, например, если мы имеем дело с большим количеством примесей, содержание которых ниже  $ПДК$  ( $\bar{c}_i / ПДК_{cc}^i < 1$ ), и среди этих примесей большая часть с высоким классом опасности (класс равен 1 или 2), то их доля при расчете по формуле (3) окажется заметно ниже доли менее опасных веществ. Другими словами, комплексный индекс загрязнения (3) дает объективную информацию о загрязнении только в том случае, когда концентрации рассматриваемых веществ превышают соответствующий  $ПДК$  или все вещества относятся к 3-му классу опасности.

Для устранения этого недостатка авторами статьи в работе [20] предложен другой индекс оценки качества атмосферы. Этот индекс может быть назван Индекс Негативного Воздействия ( $ИНВ$ ). Данный индекс кроме комплексного загрязнения атмосферы га-

Таблица 1  
Table 1

Значения индексов для различных уровней  
загрязнения атмосферы  
Indexes values to different air pollution levels

Уровень загрязнения, %	$ИЗА^S$	$СИ_i$	$НП_i$
Низкий	0–4	0–1	0
Повышенный	5–6	2–4	1–19
Высокий	7–13	5–10	20–49
Очень высокий	>14	>10	>50

**Таблица 2**  
**Table 2**  
**Вредные примеси, содержащиеся в атмосферном воздухе в Московском регионе**  
**Moscow outdoor air impurities**

Наименование компонента	ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Среднегодовое содержание в атмосфере $\bar{c}_i^a$ , мг/м <sup>3</sup>
Диоксид азота	0,04	3	0,064
Диоксид углерода	1800	4	700
Формальдегид	0,01	2	0,012
Аммиак	0,04	4	0,048
Оксид азота	0,06	3	0,018
Оксид углерода	3	4	1,2
Бенз(а)пирен	1·10 <sup>-6</sup>	1	4·10 <sup>-7</sup>
Фенол	0,006	2	0,0006
Бензол	0,1	2	0,04

**Таблица 3**  
**Table 3**  
**Вредные примеси, выделяемые человеком**  
**Impurities emission by human**

Наименование компонента	ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Эмиссия $\sigma_i^m$ , мг/ч
Диоксид углерода	1800	4	32694,8
Аммиак	0,04	4	1,97
Оксид углерода	3	4	4,045
Ацетон	0,35	4	0,203
Сероводород	0,08	2	0,015

зовыми примесями может одновременно учитывать и другие факторы влияния на человека в целом, например акустические, электромагнитные и пр. Индекс рассчитывается по следующей формуле:

$$ИНВ = \sqrt{\sum_j (A_j)^2}, \quad (4)$$

где

$$A_j = \left( \frac{f_j}{f_j^{pr}} \right)^{\beta_j}; \quad (5)$$

$f_j$  – среднегодовое значение  $j$ -го фактора, влияющего на человека;  $f_j^{pr}$  – его предельно допустимое значение;  $\beta_j$  – коэффициент, учитывающий вклад данного фактора. Применительно к случаю загрязнения воздуха индекс *ИНВ* рассчитывается как:

$$ИНВ = \sqrt{\sum_j \left( \frac{\bar{c}_j}{ПДК_{cc}^j} \right)^2}. \quad (6)$$

Использование нового индекса в форме (6) не учитывает приведение вредности каждой примеси к вредности диоксида серы, но зато позволяет в оценке загрязнения воздуха снизить влияние примесей с малыми концентрациями относительно ПДК. Нормирование вредности диоксида серы может быть учтено, если в выражении (5) вместо  $\beta_j$  использовать  $\alpha_i$  (см. (2)). В настоящее время индекс *ИНВ* еще не

имеет шкалы уровня загрязнения, как *ИЗА*<sup>S</sup>, поэтому в работе его расчет проводился, но только в справочных целях.

Как ранее указывалось, расчеты были выполнены для атмосферного воздуха Московского региона. Соответствующие данные приведены в бюллетене по загрязнению за 2018 г. (Бюллетень загрязнения окружающей среды Московского региона за 2018 г. М., 2019. ФГБУ «Центральное УГМС». 43 с.). Использованные в работе данные содержатся в табл. 2.

Для диоксида углерода ПДК<sub>сс</sub> установлено в соответствии с ГОСТ 30494–2011 и ГОСТ Р ЕН 13779–2007 как для помещения 2-го класса чистоты.

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что наиболее загрязняющими воздух примесями являются диоксид азота, формальдегид и аммиак. Превышение ПДК для них составляет 1,6; 1,2 и 1,2 соответственно. Комплексный индекс загрязнения атмосферы равен *ИЗА*<sup>S</sup>=5,4. Среднегодовой уровень загрязнения согласно табл. 1 является повышенным.

При проведении расчетных исследований были использованы следующие величины эмиссии примесей  $\sigma_i^m$ , приходящейся на одного человека за счет дыхания, выделений кожи и в других продуктах метаболизма. Данные получены на основе обработки результатов, содержащихся в [21], и приведены в табл. 3.

В качестве внутренних материалов, способных к эмиссии вредных примесей, рассмотрены следующие сравнительно малоэмиссионные современные монтажные и отделочные материалы.

Эмитируемые материалами химические вещества и коэффициенты их эмиссии приведены в табл. 4. Для составления табл. 4 было рассмотрено 13 различных материалов и несколько вариантов их совместного использования в помещениях по величине занимаемой ими площади. В результате получены диапазоны коэффициентов эмиссии, приведенные в таблице.

*Физико-математическая модель, использованная при проведении исследований.* Физико-математическая модель основана на нестационарном материальном балансе по каждому из компонентов. В модели используется условие того, что в помещении имеет место идеальное смешение, т. е. постоянство концентраций газовых примесей по всему объему.

Уравнение для расчета средних по объему концентраций примесей имеет следующий вид:

$$V \frac{dc_i}{d\tau} = Q(\tau)(c_i^a - c_i) + \sum_j \sigma_j^a S_j + N(\tau)\sigma_i^m, \quad (7)$$

где  $V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;  $c_i(\tau)$  – зависящая от времени средняя по объему концентрация  $i$ -й газовой при-

Таблица 4  
Table 4

Вредные примеси, выделяемые отделочными материалами,  
и диапазон их коэффициентов эмиссии  
Impurities emission by finishing materials and its emission  
coefficient ranges  $\sigma_i^d$  (mg/m<sup>2</sup>/h)

Наименование	ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Коэффициент эмиссии $\sigma_i^d$ , мг/м <sup>2</sup> /ч	Класс опасности
1,2,4 Триметилбензол	0,015	0,0002–0,0008	2
1,3,5 Триметилбензол	0,1	0,001–0,01	3
2 Метилбута-1,3-диен	0,1	0,0225	3
Ацетальдегид	0,01	0,002	3
Ацетон	0,35	0,008	4
Бензол	0,1	0,0023–0,022	2
Бута-1,3-диен	1	0,0105	4
Бутилакрилат	0,0075	0,00017	2
Винилацетат	0,15	0,003–0,0125	3
Гексен-1	0,085	0,0185	3
Гептан	1,5	0,625	3
Диметилбензол (ксилол)	0,2	0,0018–0,012	3
Дихлорметан	8,8	0,0065–0,0156	4
Изобутилен	0,1	0,006	4
Метилметакрилат	0,01	0,00013	2
Стирол	0,002	0,0002–0,002	2
Тетрахлорметан	0,7	0,002–0,0083	4
Толуол	0,6	0,003–0,0103	2
Трихлорметан	0,03	0,00038	2
Фенол	0,006	0,0002–0,0025	2
Формальдегид	0,01	0,0003–0,0033	2
Циклогексанон	0,04	0,00413	3
Этенилбензол	0,002	0,00013	2
Этилбензол	0,02	0,0035	3

меси, мг/м<sup>3</sup>;  $c_i^a$  – концентрация той же примеси в наружном воздухе;  $\tau$  – время, ч;  $Q(\tau)$  – поток вентиляционного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $\sigma_{ij}^d$  – коэффициент эмиссии  $i$ -й газовой примеси материалом с номером  $j$ , мг/м<sup>2</sup>/ч;  $S_j$  – площадь, с которой происходит эмиссия, м<sup>2</sup>;  $N(\tau)$  – количество людей, находящихся в момент времени  $\tau$  в помещении;  $\sigma_i^m$  – эмиссия  $i$ -й примеси, приходящаяся на одного человека, мг/ч.

В уравнении (7) поток вентиляционного воздуха и количество людей могут быть переменными во времени, что позволяет проводить исследования накопления загрязнений в зависимости от режима работы инженерно-технических систем (режим вентилирования) и режима эксплуатации помещений (количество находящихся людей).

Система уравнений (7) решалась численным интегрированием с использованием явной конечно-разностной схемы.

**Результаты исследования.** Исследования состояли из трех циклов. Результаты первого цикла включают в себя данные, показывающие, какие именно загрязнения воздуха в помещении являются преобладающими, на каком уровне загрязнения находится

Таблица 5  
Table 5

Загрязнения воздуха жилого помещения и индексы  
его загрязненности для вентиляционного потока 70 м<sup>3</sup>/ч  
Residential room air pollutions and its indexes.  
Ventilation flow rate 70 m<sup>3</sup>/hr

Название	ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Отношение средней концентрации к ПДК <sub>сс</sub>
1,2,4 Триметилбензол	0,015	2	0,01
1,3,5 Триметилбензол	0,1	3	0,02
2 Метилбута-1,3-диен	0,1	3	0,01
Аммиак	0,04	4	2,61
Ацетальдегид	0,01	3	0,01
Ацетон	0,35	4	0,02
Бенз(а)пирен	0,000001	1	0,40
Бензол	0,1	2	0,43
Бута-1,3-диен	1	4	<0,01
Бутилакрилат	0,0075	2	0,02
Винилацетат	0,15	3	0,04
Гексен-1	0,085	3	0,01
Гептан	1,5	3	0,01
Диметилбензол (ксилол)	0,2	3	0,05
Диоксид азота	0,04	3	1,6
Диоксид углерода CO <sub>2</sub>	1800	4	0,91
Дихлорметан	8,8	4	<0,01
Изобутилен	0,1	4	0,00
Метилметакрилат	0,01	2	0,01
Оксид азота	0,06	3	0,3
Оксид углерода	3	4	0,44
Стирол	0,002	2	0,06
Сероводород	0,08	2	0,01
Тетрахлорметан	0,7	4	<0,01
Толуол	0,6	2	0,01
Трихлорметан	0,03	2	<0,01
Фенол	0,006	2	0,2
Формальдегид	0,01	2	1,23
Циклогексанон	0,04	3	<0,01
Этенилбензол	0,002	2	<0,01
Этилбензол	0,02	3	<0,01
<i>ИЗА<sup>б</sup></i>			7,83
<i>ИНВ</i>			3,52

воздух в помещении и каким образом интенсивность вентиляционного воздухообмена может повлиять на этот уровень. Исследования выполнены на примере постоянного присутствия людей в помещении. На втором цикле исследовались вопросы, связанные с влиянием на загрязнения режима эксплуатации помещения (периодическое присутствие и отсутствие в нем людей). На третьем цикле рассматривалось помещение, в котором в течение большей части суток находятся люди, но их количество постоянно меняется во времени (режим работы офиса). В таких нестационарных условиях эксплуатации рассматривалась возможная эффективность использования адаптив-

ной вентиляции (вентиляции с постоянно меняющимся расходом приточного воздуха).

Во всех рассмотренных вариантах цикличность пребывания людей, а также режимов изменения вентиляции составляли одни сутки. С учетом этого все расчеты проводились в пределах немного более одних суток и в выражениях (3) и (6) концентрации  $\bar{c}_i$  также соответствовали среднесуточным.

Задача в общем случае ставится как исследование качества воздуха для помещений с меняющимся во времени количеством людей. При этом индексы загрязненности (3) и (6) имеют смысл именно с точки зрения количественного выражения отрицательного воздействия на человека, т. е. в периоды его присутствия в помещении. В связи с этим проводилась нормализация среднесуточной концентрации на количество людей, находящихся в помещении. Нормализация осуществлялась усреднением за сутки следующей величины:

$$\chi_i = \frac{c_i(\tau)}{ПДК_{cc}^i} \frac{N(\tau)}{\langle N \rangle}, \quad (8)$$

где  $c_i(\tau)$  – концентрация в воздухе помещения  $i$ -го компонента в момент времени  $\tau$ , мг/м<sup>3</sup>;  $N(\tau)$  – количество людей в помещении в момент времени  $\tau$ ;  $\langle N \rangle$  – среднесуточное количество людей в помещении. Далее расчет индексов (3) и (6) проводился с использованием нормированных среднесуточных концентраций.

#### Постоянное присутствие людей в помещении

Рассматривалось жилое помещение объемом 40 м<sup>3</sup> и площадью пола 16 м<sup>2</sup>. В помещении постоянно находятся два человека и постоянно работает вентиляция с притоком наружного воздуха 70 м<sup>3</sup>/ч, что по ГОСТ Р ЕН 13779–2007 соответствует помещениям с классом по качеству воздуха IDA-1 и IDA-2 (среднее и допустимое качество воздуха).

В табл. 5 приведены результаты расчетов, показывающие состав загрязнений рассматриваемого жилого помещения с учетом поступлений загрязнителей с атмосферным воздухом и внутренних выделений.

Как видно из таблицы, основными загрязнителями воздуха помещения с концентрациями, превышающими 0,5 ПДК, являются диоксид азота, формальдегид, диоксид углерода (СО<sub>2</sub>) и аммиак. Из них концентрации аммиака, диоксида азота и формальдегида превышали ПДК и в атмосферном воздухе (табл. 2). При этом концентрация диоксида азота не изменилась относительно его содержания в наружном воздухе (в помещении отсутствуют его выделения), а концентрации формальдегида, СО<sub>2</sub> и аммиака выросли. Концентрация формальдегида выросла незначительно, поскольку он хоть и выделяется внутри

помещения, но в довольно малых количествах. При этом на практике могут быть случаи, когда загрязнение формальдегидом значительно; часто это связано с его выделением из клеевой основы древесных материалов (ДСП, фанера), которые в рамках настоящей работы не рассматривались. Концентрация аммиака выросла более чем в два раза относительно наружного воздуха, а концентрация СО<sub>2</sub> – более чем в 2,5 раза, причиной чего являются их выделения человеком.

Сравнивая данные табл. 2 и 5, следует обратить внимание на то, что концентрация диоксида углерода хоть и выросла относительно его содержания в наружном воздухе, но находится на уровне ПДК, а вот концентрация аммиака стала более чем в два раза превышать его содержание на улице и значительно превысила ПДК.

По значению комплексного индекса загрязнения  $ИЗА^S=7,83$  загрязнение в помещении считается высоким, тогда как уличный воздух имел уровень загрязнения, относящийся к категории *повышенный* (см. комментарии к табл. 2.). Здесь и далее индексы загрязнения подсчитываются по всем химическим примесям, представленным в табл. 5.

Рассмотрим теперь роль загрязненности наружной атмосферы и величины вентиляционного воздухообмена в загрязнении воздуха помещения. Следует отметить один важный момент. Согласно данным табл. 2, расчетное значение индекса загрязнения наружного воздуха составляет  $ИЗА^S=5,4$ , и согласно табл. 1, для такого воздуха уровень загрязнения является повышенным. Это означает, что индекс загрязнения в помещении при использовании вентиляции как средство очистки воздуха никогда не может оказаться ниже 5,4 и в помещении уровень загрязнения всегда также будет повышенным (если, конечно, не использовать специальные устройства для газоразделения и очистки воздуха, например химические, мембранные или сорбционные). Для того чтобы в данном исследовании результаты имели более наглядный характер, расчеты были выполнены при условии, что концентрация всех загрязнителей в наружной атмосфере (кроме концентрации диоксида углерода, которая в основном определяется не экологической обстановкой в данной местности, а скорее его глобальным содержанием в земной атмосфере) была понижена в два раза относительно только что рассмотренного примера Московского региона. На рис. 1 приведены графики, показывающие зависимость индексов загрязнения  $ИЗА^S$  и  $ИНВ$ , а также средней за сутки относительной концентрации аммиака  $\chi_i$  от потока вентиляционного воздуха в комнату. Здесь и далее средние относительные концентрации даются в долях ПДК<sub>cc</sub>, нормированных по количе-



Таблица 6  
Table 6

Нормализованные относительные среднесуточные концентрации вредных примесей  $\chi_i$  в зависимости от потока вентиляционного воздуха  $Q$   
Normalized daily average harmful relative concentrations  $\chi_i$  depending on ventilation flow rate  $Q$

$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	28	39	70	250	70*
	Концентрации $\chi_i$				
Аммиак	4,12	3,13	2,01	0,99	2,61
СО <sub>2</sub>	1,63	1,26	0,85	0,48	0,91
Диоксид азота	0,8	0,8	0,8	0,8	1,6
Формальдегид	0,68	0,66	0,63	0,61	1,23

\* Расчет соответствует составу воздуха для Московского региона (табл. 2).

Таблица 7  
Table 7

Нормализованные относительные среднесуточные концентрации вредных примесей  $\chi_i$  в зависимости от режима работы вентиляции  
Normalized daily average harmful relative concentrations  $\chi_i$  depending on ventilation regime

Режим	$Q_{70}/70$	$Q_{70}/20$	$Q_{70}/1$
	Концентрации $\chi_i$		
Аммиак	2,54	2,54	2,59
СО <sub>2</sub>	0,88	0,88	0,9
Диоксид азота	1,6	1,6	1,6
Формальдегид	1,33	1,35	1,44
	Индексы загрязненности		
<i>ИЗА<sup>с</sup></i>	7,2	7,98	8,42
<i>ИНВ</i>	3,01	3,51	3,6

ству людей, находящихся в помещении (см. (8)). Напомним, что в данном варианте в помещении постоянно находятся два человека, на каждого из которых приходится половина показанного на графике потока вентиляции.

Первое, что необходимо отметить: уменьшение в два раза концентрации аммиака и других химических компонентов (кроме диоксида углерода) в наружном воздухе для рассмотренного в первом примере потока вентиляции 70 м<sup>3</sup>/ч привело к тому, что индекс *ИЗА<sup>с</sup>* понизился от 7,83 до 5,04, т. е. на 55%, и загрязнение в комнате из высокого перешло в категорию повышенного. Величина вентиляционного потока оказывает следующее влияние на загрязненность воздуха: при недостаточно большой вентиляции имеет место резкое увеличение комплексного индекса загрязненности, но категория очень высокого загрязнения не достигается даже при вентиляции 12 м<sup>3</sup>/ч/чел. Скорость изменения индексов загрязненности при изменениях вентиляционного потока оценочно составляет 0,05 (м<sup>3</sup>/ч)<sup>-1</sup>. При увеличении вентиляции постепенно снижается ее влияние на *ИЗА<sup>с</sup>* и *ИНВ* и скорость их изменений можно оценить как 0,008 (м<sup>3</sup>/ч)<sup>-1</sup>. При вентиляции на уровне 180 м<sup>3</sup>/ч и более (90 м<sup>3</sup>/ч на человека) уровень загрязнения становится низким.

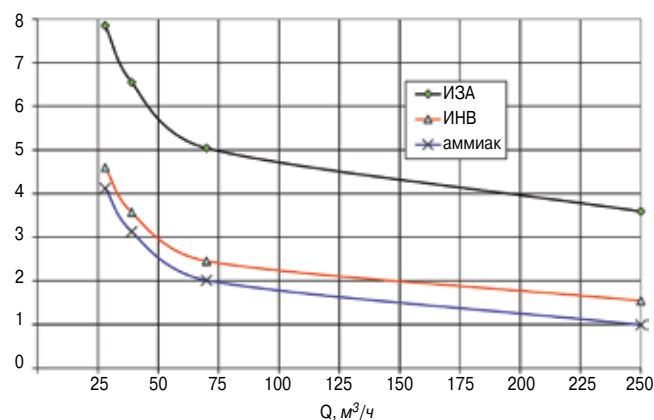


Рис. 1. Зависимость индексов загрязнения *ИЗА<sup>с</sup>* и *ИНВ*, а также средней за сутки относительной концентрации аммиака  $\chi_i$  от потока вентиляционного воздуха  $Q$

Fig. 1. Atmosphere pollution index (APF), negative influence index (NII) and relative ammonia concentration dependences on ventilation flow rate  $Q$

По этим оценкам в том случае, когда атмосфера наружного воздуха будет иметь загрязнение Московского региона (табл. 2), для обеспечения категории загрязнения внутреннего воздуха с категорией *повышенный* (как и у наружного воздуха) поток вентиляционного воздуха должен составить очень большую величину – более 400 м<sup>3</sup>/ч.

Влияние вентиляционного потока на среднесуточные концентрации наиболее значимых загрязнителей воздуха приведены в табл. 6.

Как следует из данных этой таблицы, основными примесями, влияющими на зависимость индекса загрязненности *ИЗА<sup>с</sup>* от потока вентиляционного воздуха, являются аммиак и СО<sub>2</sub>, причем поскольку оба эти вещества относятся к одному классу опасности (4-й класс), основной вклад в эту зависимость дает аммиак, как имеющий гораздо большее значение  $\chi$ . Среди основных примесей имеется диоксид азота, имеющий класс опасности 3, но его концентрация не зависит от потока вентиляционного воздуха (он не выделяется внутри помещения). Есть еще более опасное вещество – формальдегид с классом опасности 2, но его содержание слабо зависит от потока вентиляционного воздуха, поскольку в рассматриваемом варианте внутри помещения он выделяется в малых дозах по сравнению с поступлением с наружным воздухом.

Концентрация аммиака превышает его *ПДК* в очень широком диапазоне величины вентиляционного потока (рис. 1). Концентрация аммиака превышает *ПДК* даже в тех случаях, когда загрязненность воздуха оценивается как низкая (*ИЗА<sup>с</sup>* < 4). Следовательно, требование того, что концентрация каждого загрязнителя в помещении обязательно не должна превышать его *ПДК*, является очень жестким и, вполне вероятно, избыточным. Его крайне сложно выполнить на практике, а выполнение связано с огромными

Таблица 8  
Table 8

Нормализованные относительные среднесуточные концентрации вредных примесей  $\chi_i$  в зависимости от режима работы вентиляции  
Normalized daily average relative harmful impurities concentrations  $\chi_i$  dependence on ventilation regime

Режим	Q500/500	Q500/100
Концентрации $\chi_i$		
Аммиак	2,53	2,57
CO <sub>2</sub>	0,88	0,89
Диоксид азота	1,6	1,6
Формальдегид	1,32	1,36
Индексы загрязненности		
ИЗА <sup>с</sup>	8,14	8,45
ИНВ	3,51	3,57

энергозартатами на вентиляцию помещений. Более того, это требование невыполнимо при сколь угодно большой вентиляции для компонентов, у которых это превышение имеет место в наружном воздухе.

#### Жилое помещение с непостоянным пребыванием людей

Рассмотрено помещение, в котором люди (два человека) присутствуют только половину суток и используются различные режимы вентиляции помещения. Задача в данном случае становится нестационарной. После начала расчетов происходят колебания концентраций и сравнительно быстро достигаются повторяющиеся суточные их изменения. В качестве помещения выбрано помещение с теми же параметрами, что и в предыдущем варианте. Предполагается, что люди находятся в помещении только половину суток – с 20:00 до 8:00.

В качестве номинального расхода приточного воздуха в вентиляции рассматривается поток 70 м<sup>3</sup>/ч. Анализу подлежал состав внутреннего воздуха при использовании вентиляции, работающей с пониженным притоком наружного воздуха в периоды, когда люди в помещении отсутствуют, т. е. в течение 12 ч в течение суток.

Были рассмотрены три следующих варианта: режим Q70/70 – вентиляция обеспечивает постоянный расход воздуха в течение всех суток; режим Q70/20 – в течение 12 ч во время отсутствия людей вентиляция обеспечивает пониженный расход воздуха Q=20 м<sup>3</sup>/ч; режим Q70/1 – в период отсутствия людей вентиляция обеспечивает очень низкий расход воздуха 1 м<sup>3</sup>/ч. Последний режим фактически означает выключенную вентиляцию, а приток воздуха обеспечивается за счет воздухопроницаемости ограждающей конструкции.

Результаты расчетов приведены в табл. 7.

При расчетах состав вентиляционного воздуха соответствовал составу воздуха в Москве так, что

полученные результаты можно сравнивать с данными, приведенными в табл. 4, или с данными в последнем столбце табл. 6. Это сравнение показывает, что в данном случае индекс ИЗА<sup>с</sup> снижается с 7,83 до 7,2, но, несмотря на это, уровень загрязнения помещения также остается высоким. При уменьшении вентиляции в дневное время этот индекс подрастает, но не настолько сильно, чтобы он стал очень высоким. Примечательно, что уменьшение вентиляции и даже ее практически полное выключение не приводят к заметному росту средних концентраций загрязнителей. Это связано с малой инерционностью помещения, которая по постоянной времени оценивается порядка 30 мин.

Основной вывод таков, что в помещении с непостоянным пребыванием людей без заметной потери качества воздуха вентиляция может быть снижена или даже совсем выключена в периоды времени отсутствия людей. Но за счет эмиссии вредных веществ и их накопления в периоды пониженной вентиляции расход вентиляционного воздуха надо увеличивать заблаговременно до прихода людей с целью выветривания загрязнителей, выделяемых строительными и отделочными материалами.

#### Помещение общественного здания с переменным пребыванием людей

Рассмотрено помещение общественного здания объемом 450 м<sup>3</sup> и с площадью пола 150 м<sup>2</sup>. В помещении находятся люди, график присутствия которых приведен на рис. 2. В среднем за сутки в помещении присутствует 7,25 человека. Номинальный приток вентиляционного воздуха составляет 500 м<sup>3</sup>/ч, что соответствует существующим нормативам. Отделка помещения, как и прежде, не включает материалов, эмитирующих большое количество вредных приме-

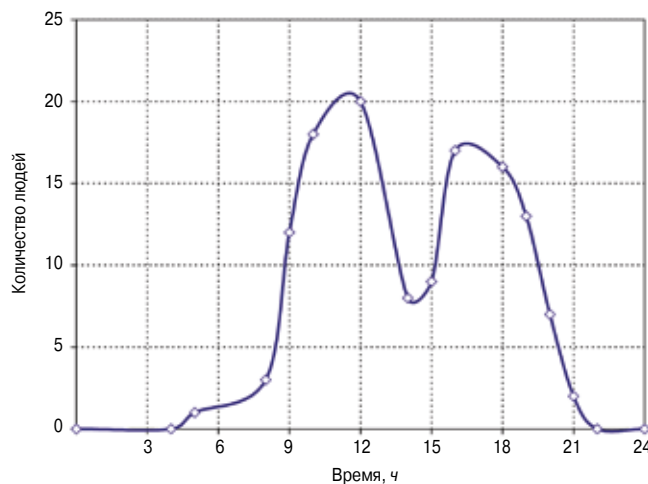


Рис. 2. График зависимости от времени посещения людьми помещения общественного здания

Fig. 2. Number of people in the room of public building dependence on time

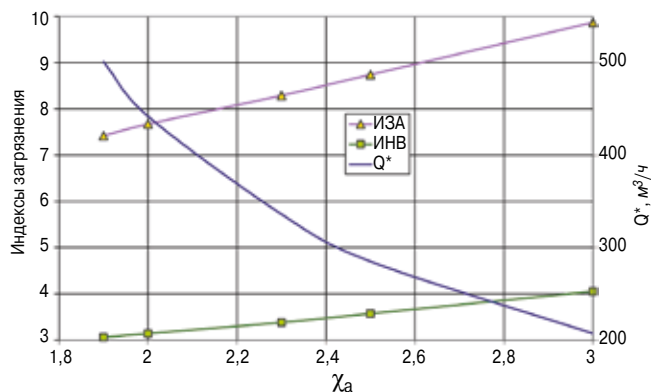


Рис. 3. Среднесуточный расход воздуха  $Q^*$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) и индексы загрязнения  $IЗА^S$  и  $ИНВ$  в зависимости от порогового значения относительной концентрации аммиака ( $\chi_a$ )

Fig. 3. Daily average ventilation flow rate and pollution indexes  $APF^S$  and  $NI$  dependence on threshold value of relative ammonia concentration

сей, но большинство примесей, представленных в табл. 4, присутствуют.

Рассмотрено два режима работы вентиляции:  $Q500/500$ , когда вентиляция в штатном режиме  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$  работает в течение суток, и режим  $Q500/100$ , когда с 20:00 до 8:00 следующего утра вентиляция подается с пониженным расходом  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Результаты расчетов приведены в табл. 8, по своей структуре аналогичной табл. 7.

При расчетах состав наружного воздуха также соответствует г. Москве так, что полученные результаты можно сравнивать с данными, приведенными в табл. 7. Это сравнение показывает, что в данном случае индекс  $IЗА^S$  оказался более высоким, а уровень загрязнения помещения также относится к категории *высокий*. В случае, когда вентиляции в ночное время уменьшается, этот индекс незначительно подрастает. Примечательно, что уменьшение вентиляции не приводит к заметному изменению средних концентраций загрязнителей.

В рассмотренном примере среднесуточный вентиляционный расход снижается с  $500$  до  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ , при этом среднесуточное качество воздуха почти не уменьшается. Правда, качество воздуха в дневное и ночное время будет отличаться. Посмотрим, что происходит, когда в помещении используется адаптивная вентиляция. В качестве адаптивной вентиляции рассмотрим режим работы вентиляции, при котором для ее регулирования используются сигналы по величине концентрации одного из загрязнителей. В данном случае рассмотрено содержание аммиака как компонента, вносящего основной вклад в величины индексов загрязнения. При превышении концентрации порогового значения ( $\chi_a$ ) вентиляция включается и обеспечивает номинальный расход  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Если концентрация ниже этого порогового значения, то вентиляция полностью отключается.

На рис. 3 приведены среднесуточный расход воздуха в такой вентиляционной системе  $Q^*$   $\text{м}^3/\text{ч}$  и значения индексов  $IЗА^S$  и  $ИНВ$  в зависимости от порогового значения нормированной среднесуточной относительной концентрации аммиака  $\chi_a$ .

Сравнивая данные на рис. 3 и данные табл. 8, можно сказать, что адаптивная вентиляция дает заметный эффект по чистоте воздуха (по величине  $IЗА^S$ ) и особенно по содержанию в помещении аммиака, если ее сравнивать с постоянно действующей вентиляцией. По сравнению с режимом  $Q500/100$ , когда в дневное время вентиляция имеет номинальное значение, а в ночное — пониженное, эффект также есть, но он невелик (в пределах 5% снижения среднего вентиляционного расхода).

### Выводы

Представленные результаты показывают, что в загрязненности воздуха помещений жилых и общественных зданий большую роль играют газообразные продукты, выделяемые людьми. На примере Московского региона установлено, что основным компонентом загрязнения воздуха помещений жилых и общественных зданий является аммиак, который присутствует в атмосфере и выделяется людьми. На примерах различных режимов эксплуатации помещений по количеству людей показано влияние вентиляционного воздухообмена на качество воздуха. Снижение вентиляционного воздухообмена в зависимости от режима эксплуатации позволяет существенно сократить средний воздухообмен, не снижая уровень загрязненности воздуха.

На примерах воздуха г. Москвы и в два раза более чистого наружного воздуха показано, что экологическая обстановка оказывает значительное влияние на качество воздуха в помещениях. В рассмотренных примерах достижение одних и тех же показателей по загрязненности внутреннего воздуха помещений требует различия в воздухообмене в шесть и более раз.

В статье предложен новый индекс оценки качества воздуха ( $ИНВ$ ), который также может быть использован как индекс общего негативного воздействия на организм человека со стороны внешних факторов (качество воздуха, акустические, электромагнитные и другие воздействия). Показаны соотношения между величинами  $ИНВ$  и традиционным комплексным индексом загрязнения атмосферы несколькими примесями  $IЗА^S$ . Новый индекс устраняет недостатки  $IЗА^S$ , связанные с существенным влиянием малых примесей (ниже  $ПДКсс$ ) на показатель качества воздуха, акцентирует воздействия, связанные с превышением  $ПДКсс$  в разы, может учитывать негативные воздействия, связанные не только с загрязнениями, но и с другими воздействиями: акустическими, вибрационными, электромагнитными и др.



## Список литературы

1. Anderson H.R. Air pollution and mortality: A history. *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43, pp. 142–152.
2. Lv Y., Huang G.H., Li Y.P., Yang Z.F., Sun W. A two-stage inexact joint-probabilistic programming method for air quality management under uncertainty. *Journal of Environmental Management*. 2011. Vol. 92, pp. 813–826.
3. Muller N., Mendolsohn R. Measuring the damages of air pollution in the United States. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2007. Vol. 54 (1), pp. 1–14.
4. Voorhees A., Sakai R., Araki S., Sato H., Otsu A. Cost-benefit analysis methods for assessing air pollution control programs in urban environments – a review. *Environmental Health and Preventive Medicine*. 2001. No. 6, pp. 63–73.
5. Савичев А.В., Калиниченко М.В. Загрязнение атмосферы // *Успехи современного естествознания*. 2010. № 7. С. 14–15.
6. Helmut M. Air pollution in cities. *Atmospheric Environment*. 1999. No. 33, pp. 4029–4037.
7. Гурина И. В. Уровень углекислого газа в помещениях и здоровье, работоспособность персонала // *Экологический вестник России*. 2009. № 1. С. 18–24.
8. Табунщиков Ю.А. Экологическая безопасность жилища // *АВОК*. 2007. № 4. С. 4–7.
9. Wolkoff P. Indoor air pollutants in office environments: assessment of comfort, health, and performance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2013. Vol. 216, pp. 371–394.
10. Crump D., Brown V., Rowley J., Squire R. Reducing ingress of organic vapours into homes situated on contaminated land. *Environmental Technology*. 2004. No. 25, pp. 443–450.
11. Zanobetti A., Austin E., Coull B.A., Schwartz J., Koutrakis P. Health effects of multi-pollutant profiles. *Environment International*. 2014. Vol. 71, pp. 13–19.
12. До Ч.Х., Нгуен Т.Л., Фам К.К. Гигиеническая классификация рабочей среды и определение профессионального риска под воздействием факторов шума и вибрации. *Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: Сборник докладов XI Международной научной конференции. Волгоградский медицинский университет*. Волгоград, 2017. С. 57–64.
13. Андреева Е.Е. Оценка риска для здоровья населения от вредных факторов атмосферного воздуха, по данным социально-гигиенического мониторинга // *Здоровье населения и среда обитания*. 2016. № 10. С. 15–18.
14. Шилькрот Е.О., Губернский Ю.Д. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // *АВОК*. 2008. № 4. С. 4–12.

## References

1. Anderson H.R. Air pollution and mortality: A history. *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43, pp. 142–152.
2. Lv Y., Huang G.H., Li Y.P., Yang Z.F., Sun W. A two-stage inexact joint-probabilistic programming method for air quality management under uncertainty. *Journal of Environmental Management*. 2011. Vol. 92, pp. 813–826.
3. Muller N., Mendolsohn R. Measuring the damages of air pollution in the United States. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2007. Vol. 54 (1), pp. 1–14.
4. Voorhees A., Sakai R., Araki S., Sato H., Otsu A. Cost-benefit analysis methods for assessing air pollution control programs in urban environments – a review. *Environmental Health and Preventive Medicine*. 2001. No. 6, pp. 63–73.
5. Savichev A.V., Kalinichenko M.V. Air pollution. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya*. 2010. No. 7, pp. 14–15. (In Russian).
6. Helmut M. Air pollution in cities. *Atmospheric Environment*. 1999. No. 33, pp. 4029–4037.
7. Gurina I. V. The level of carbon dioxide in the premises and the health, performance of staff. *Ekologicheskii vestnik Rossii*. 2009. No. 1, pp. 18–24 (In Russian).
8. Tabunshchikov Yu.A. Ecological safety of the home. *AVOK*. 2007. No. 4, pp. 4–7 (In Russian).
9. Wolkoff P. Indoor air pollutants in office environments: assessment of comfort, health, and performance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2013. Vol. 216, pp. 371–394.
10. Crump D., Brown V., Rowley J., Squire R. Reducing ingress of organic vapours into homes situated on contaminated land. *Environmental Technology*. 2004. No. 25, pp. 443–450.
11. Zanobetti A., Austin E., Coull B.A., Schwartz J., Koutrakis P. Health effects of multi-pollutant profiles. *Environment International*. 2014. Vol. 71, pp. 13–19.
12. Do C.H., Nguen T.L., Fam K.K. Hygienic classification of the working environment and the definition of occupational risk under the influence of noise and vibration factors. *Quality of internal air and environment: Proceedings of the XI International scientific conference. Volgograd Medical University*. Volgograd. 2017, pp. 57–64. (In Russian).
13. Andreeva E.E. Assessment of public health risk from harmful atmospheric air factors, according to socio-hygienic monitoring. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2016. No. 10, pp. 15–18. (In Russian).
14. Shil'krot E.O., Gubernskii Yu.D. How much air does a person need for comfort? *AVOK*. 2008. No. 4, pp. 4–12. (In Russian).
15. Goshka L.L. Energy saving and climate system efficiency. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2010. No. 1, pp. 14–22. (In Russian).

15. Гошка Л.Л. Энергосбережение и эффективность климатических систем // *Инженерно-строительный журнал*. 2010. № 1. С. 14–22.
16. Ливчак И.Ф., Наумов А.Л. Вентиляция многоэтажных жилых зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. 136 с.
17. Куприянов В.Н., Сайфутдинова А.М. Статистический анализ годового хода располагаемого напора для оценки естественного воздухообмена жилых помещений // *Известия КГАСУ*. 2013. № 23. С. 109–119.
18. Сайфутдинова А.М., Куприянов В.Н. Качественные характеристики воздухообмена жилых помещений и их зависимость от объемно-планировочных и конструктивных решений зданий // *Известия КГАСУ*. 2014. № 1. С. 113–117.
19. Левин Е.В., Окунев А.Ю. О нормировании качества воздуха в помещениях жилых и общественных зданий // *БСТ. Бюллетень строительной техники*. 2020. № 6. С. 60–63.
20. Волкова Н.Г., Левин Е.В., Окунев А.Ю. и др. Уточнение параметров микроклимата помещений жилых и общественных зданий. В кн. Отчет о НИР № Г.Р. АААА-А19-119062790104-6. М.: НИИСФ РААСН. 2019, 230 с.
21. Файнбург Г.З. Введение в аэровалеологию: Воздушная среда и здоровье человека. Пермь: Пермский государственный технический университет. 2005. 104 с.
16. Livchak I.F., Naumov A.L. Ventilyatsiya mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy [Ventilation of multi-story residential buildings]. Moscow: AVOK-PRESS. 2005. 136 p.
17. Kupriyanov V.N., Sajfutdinova A.M. Statistical analysis of the annual stroke of the available head to assess the natural air exchange of residential premises. *Izvestiya KGASU*. 2013. No. 23, pp. 109–119. (In Russian).
18. Sajfutdinova A.M., Kupriyanov V.N. Qualitative characteristics of air exchange in residential premises and their dependence on space-planning and structural solutions of buildings. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 1, pp. 113–117. (In Russian).
19. Levin E.V., Okunev A.Y. On the regulation of air quality in the premises of residential and public buildings. *BST. Byulleten' Stroitel'noj Tekhniki*. 2020. No. 6, pp. 60–63. (In Russian).
20. Volkova N.G., Levin E.V., Okunev A.Yu. et al. Utochnenie parametrov mikroklimate pomescheniy zgilykh I obschestvennykh zdaniy. V kn.: Otchet o NIR № G.R. АААА-А19-119062790104-6 [Classification of the microclimate of residential and public buildings. In the book: Scientific report No. G.R. АААА-А19-119062790104-6]. Moscow: NIISF RAASN, 2019. 230 p.
21. Fainburg G.Z. Vvedenie v aerovaleologiyu: Vozdushnaya sreda i zdorov'e cheloveka [Introduction to aerovaleology: Air environment and human health]. Perm': Perm. Gos. Tekhn. Univer. 2005. 104 p.

# 16–18 СЕНТЯБРЯ

XXV СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

## БАЙКАЛЬСКАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ НЕДЕЛЯ

Специализированная выставка для тех, кому необходима информация из «первых рук» о строительных, отделочных материалах и технологических решениях для строительства, ремонта и проектирования. Также на выставке будут представлены самые модные направления дизайна и благоустройства дома.

г. Иркутск, ул. Байкальская, 253а,  
тел.: +7 (3952) 35-29-00, e-mail: info@sibexpo.ru  
www.sibexpo.ru

**СибЭкспоЦентр**

16+

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до 3-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.



Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Жилищное строительство» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

**Библиографические списки** цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автором требованиям к содержанию научной статьи.

#### НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.



#### ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–3 года в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

**ВНИМАНИЕ! С 1 января 2020 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам!»**

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.



Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Жилищное строительство», ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»<sup>®</sup> был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)



Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://rifsm.ru/page/7/> или журнала [www.journal-hc.ru/index.php/ru/avtoram](http://www.journal-hc.ru/index.php/ru/avtoram)



СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ  
ВЫСТАВКА

# ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Trade Fair for Construction Materials



## СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ:

Салон станков, оборудования, технологий и сырья  
для индустрии керамической промышленности

**КЕРАМБРИКТЕХ**  
CERAMBRICKTECH

Переработка и управление отходами

**RWEXPO**

RECYCLING WASTE EXPO



26.01 | 29.01  
МОСКВА 2021

реклама

16+



ОРГАНИЗАТОР /  
Organizer:

МОСКВА, РОССИЯ

**ЕВРОЭКСПО**



VIENNA, AUSTRIA

**EUROEXPO**

Exhibitions and Congress Development GmbH



[www.osmexpo.ru](http://www.osmexpo.ru)

# СТИМ ЭКСПО

9-12  
сентября

ВЫСТАВКА

КОМПЛЕКС РЕШЕНИЙ ДЛЯ СТРОЙКИ И РЕМОНТА

СТРОИТЕЛЬСТВО.  
АРХИТЕКТУРА

ИНЖЕНЕРНЫЕ  
РЕШЕНИЯ

4 000 М<sup>2</sup>

МАЛОЭТАЖНОЕ  
ДОМОСТРОЕНИЕ



8 000  
СПЕЦИАЛИСТОВ



БОЛЕЕ 100  
ВЕДУЩИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ



50 КОНФЕРЕНЦИЙ  
И СЕМИНАРОВ

Выставка «СТИМэкспо» –  
это уникальная возможность:

- УВЕЛИЧИТЬ ПРОДАЖИ И РАСШИРИТЬ ИХ ГЕОГРАФИЮ
- НАЙТИ ПРОВЕРЕННЫХ ПОСТАВЩИКОВ
- ПРЕЗЕНТОВАТЬ СВОЙ ПРОДУКТ

Ростов-на-Дону, пр. Нагибина, 30

(863) 268-77-68; [www.stimexpo.ru](http://www.stimexpo.ru)



ВЫСТАВКИ И СОБИТИЯ

# 22-23 СЕНТЯБРЯ / 2020

## III МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

# «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»

Организаторы конференции



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Место проведения:

МОСКВА

Холидей Инн Сущевский  
(Holiday In Suschevsky)  
ул. Сущевский Вал, 74

Генеральный спонсор



Генеральные информационные партнеры



[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com), [info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com)

тел.: +7 (495) 66-55-014, моб.: +7 916 36-857-36