



ISSN 0044-4472

7'2023

ЖИЛИЩНОЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

www.rifsm.ru

www.journal-hc.ru

издается с 1958 г.



V МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ»

20–22
СЕНТЯБРЯ 2023



МОСКВА
ОТЕЛЬ HOLIDAY INN SUSCHEVSKY

Организатор конференции



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Официальная поддержка



АО ЦНИИТС



ЦНИИПСК | stako
им. Мельникова
с 1880 года



НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»
Федеральный научный центр

С 1927 ГОДА
95
ЛЕТ

Генеральный спонсор
конференции



ZINKER

Генеральные информационные партнеры



www.fc-union.com, info@fc-union.com, +7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810

12+



Учредитель журнала: АО «ЦНИИЭП жилища»
Адрес: Россия, 127434, Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1

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

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)

БОДРОВ М.В.,
д-р техн. наук (Нижний Новгород)

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)

ЛАПИДУС А.А.,
д-р техн. наук, профессор (Москва)

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

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

ОСИПОВА Н.Н.,
д-р техн. наук (Саратов)

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

ТАБУНЩИКОВ Ю.А.,
д-р техн. наук, член-корреспондент
РААСН, профессор (Москва)

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

ТИХОНОВ И.Н.,
д-р техн. наук (Москва)

ФЕДОСОВ С.В.,
д-р техн. наук, профессор,
академик РААСН (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.**

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с 1958 г.

7'2023

Защита зданий и сооружений от шума

Н.А. КОЧКИН, А.В. ИВАНОВА, И.Л. ШУБИН, А.А. КОЧКИН
Исследование звукоизоляции ограждений с гибкой плитой
на основе из слоистых элементов. 3

Д.С. КУЗЬМИН, Д.В. МОНИЧ, П.А. ГРЕБНЕВ, М.А. ПОРОЖЕНКО
Способы повышения звукоизоляции легких перегородок с торкрет-облицовками. 10

Х.А. ЩИРЖЕЦКИЙ, В.Н. СУХОВ
Расчет звукопоглощения при проектировании шумозащиты помещений
с повышенным шумовым фоном и распределенными источниками шума. 17

Тепловая защита зданий

И.В. БЕССОНОВ, О.В. ГРАДОВА, И.С. ГОВРЯКОВ, Э.А. ГОРБУНОВА
Исследование влажностного режима наружных стен
с применением легких стальных тонкостенных конструкций. 21

XIV Академические чтения, посвященные памяти академика РААСН Осипова Г.Л.,
«Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение.
Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность.
Строительная физика – новым территориям» (Информация). 28

И.С. КУРИЛЮК, С.И. КРЫШОВ
Оценка минимальной температуры на светопрозрачных конструкциях
по данным натурных измерений. 29

Водоснабжение, канализация, строительные системы

О.Г. ПРИМИН
Водные ресурсы. Проблемы систем водопользования России
и направления их реконструкции. 35

Подземное строительство

В.И. РИМШИН, А.В. КАЛАЙДО, М.Н. СЕМЕНОВА, О.В. ДАВЫСКИБА
Расчет подземных ограждающих конструкций по критериям
радоновой безопасности здания. 40

Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование, газоснабжение и освещение

И.А. ШМАРОВ, В.В. ЗЕМЦОВ
Методика расчета яркости фасадов зданий при локальном
архитектурном освещении. 47

Экологическое строительство

С.Г. ШЕИНА, У. ШИСЯО, А.А. ФЕДОРОВСКАЯ, Н.П. УМНЯКОВА
Применение ветровой энергетики в жилищном строительстве Китая. 52

Founder of the journal: AO «TSNIEP zhilishcha»
Address: 9/3 Dmitrovskoye Highway, 127434,
Moscow, Russian Federation

Publisher: «STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation

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)

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

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

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

BODROV M.V.,
Doctor of Sciences (Engineering)
(Nizhny Novgorod)

FEDOSOV S.,
Doctor of Science (Engineering),
Professor, Academician of RAACS
(Moscow)

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

LAPIDUS A.A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Moscow)

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

ORELSKAYA O.,
Doctor of Architecture, Corresponding
member of RAACS, Professor
(Nizhny Novgorod)

OSIPOVA N.N.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Saratov)

SUBBOTIN O.,
Doctor of Architecture (Krasnodar)

TABUNSHIKOV Yu.A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS,
Professor (Moscow)

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

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

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

VOLKOV A.,
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)

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 discussion, 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

7'2023

Protection of buildings and structures against noise

- N.A. KOCHKIN, A.V. IVANOVA, I.L. SHUBIN, A.A. KOCHKIN
Studies of Sound Insulation of Fences with a Flexible Slab
on the Offset From Layered Elements 3
- D.S. KUZMIN, D.V. MONICH, P.A. GREBNEV, M.A. POROZHENKO
Ways to Increase the Sound Insulation of Light Partitions with Shotcrete Claddings. 10
- Kh.A. SHCHIRZHETSKIY, V.N. SOUKHOV
Calculation of Sound Absorption in the Design of Noise Protection of Rooms
with High Background Noise and Distributed Noise Sources 17

Heat protection of buildings

- I.V. BESSONOV, O.V. GRADOVA, I.S. GOVRYAKOV, E.A. GORBUNOVA
Research of the Humidity Conditions of External Walls Using Light Steel
Thin-Walled Structures 21
- Scientific Conference – XIII Academic Readings Dedicated to the Memory
of Academician of RAACS Osipov G.L. "Actual Problems of Building Physics.
Energy Saving. Reliability of Building Structures and Environmental Safety.
Building physics to new territories" (Information) 28
- KURILYUK, S.I. KRYSHOV
Estimation of the Minimum Temperature on Translucent Structures According
to Field Measurements 29

Water supply, sewerage, building systems

- O.G. PRIMIN
Water Resources. Problems of Water Use Systems in Russia and Directions
of Their Reconstruction. 35

Underground construction

- V.I. RIMSHIN, A.V. KALAIDO, M.N. SEMENOVA, O.V. DAVYSKIBA
Calculation of Underground Walling According to the Criteria of a Building Radon Safety 40

Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting

- I.A. SHMAROV, V.V. ZEMTSOV
Methodology for Calculating the Brightness of Building Facades
under Local Architectural Lighting 47

Ecological construction

- S.G. SHEINA, U. SHISIAO, A.A. FEDOROVSKAYA, N.P. UMNYAKOVA
Application of Wind Power in Housing Construction in China 52

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 534.833

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-3-9>

Н.А. КОЧКИН¹, канд. техн. наук (vol.nikit@inbox.ru),
А.В. ИВАНОВА¹, старший преподаватель (kiriatkovaav@vogu35.ru);
И.Л. ШУБИН², д-р техн. наук, член-корр. РААСН, директор (niisf@niisf.ru);
А.А. КОЧКИН¹, д-р техн. наук (aakochkin@mail.ru)

¹ Вологодский государственный университет (160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15)

² Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Исследование звукоизоляции ограждений с гибкой плитой на отnose из слоистых элементов

Приведены результаты экспериментальных исследований звукоизоляции ограждений с гибкими плитами на отnose, выполненных в реверберационных помещениях, и дан анализ влияния некоторых факторов на их звукоизоляцию. Показано, что устройство гибких плит на отnose с двух сторон основной конструкции в случае воздушного зазора повышает дополнительную звукоизоляцию по отношению к одностороннему расположению плит на 5–6 дБ, а при заполнении зазора звукопоглощающим материалом это повышение составляет 3–4 дБ. Разница в дополнительной звукоизоляции за счет применения слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с гибкими плитами, соединенными «насухо», не превышает 2 дБ при воздушном зазоре, а при заполнении зазора звукопоглощающим материалом равна нулю.

Ключевые слова: звукоизоляция, ограждения с гибкой плитой на отnose, слоистые элементы.

Для цитирования: Кочкин Н.А., Иванова А.В., Шубин И.Л., Кочкин А.А. Исследование звукоизоляции ограждений с гибкой плитой на отnose из слоистых элементов // *Жилищное строительство*. 2023. № 7. С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-3-9>

N.A. KOCHKIN¹, Candidate of Sciences (Engineering), (vol.nikit@inbox.ru), A.V. IVANOVA¹, Senior Lecturer, (kiriatkovaav@vogu35.ru);
I.L. SHUBIN², Doctor of Sciences (Engineering), Correspondent Member of RAACS, Director, (niisf@niisf.ru);
A.A. KOCHKIN¹, Doctor of Sciences (Engineering), (aakochkin@mail.ru)

¹ Vologda State University (15, Lenin Street, Vologda, 160000, Russian Federation)

² Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Studies of Sound Insulation of Fences with a Flexible Slab on the Offset From Layered Elements

The results of experimental studies of the sound insulation of fences with flexible slabs on the offset, carried out in reverberation rooms, are presented, and an analysis is made of the influence of some factors on their sound insulation. It is shown that the installation of flexible slabs on the offset from both sides of the main structure in the case of an air gap increases the additional sound insulation in relation to the one-sided arrangement of the slabs by 5–6 dB, and when the gap is filled with sound-absorbing material, this increase is 3–4 dB. The difference in additional sound insulation due to the use of layered vibration-damped elements compared to flexible plates connected “dry” does not exceed 2 dB with an air gap, and when the gap is filled with sound-absorbing material, it is equal to zero.

Keywords: sound insulation, fences with a flexible slab on the offset, layered elements.

For citation: Kochkin N.A., Ivanova A.V., Shubin I.L., Kochkin A.A. Studies of sound insulation of fences with a flexible slab on the offset from layered elements. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 7, pp. 3–9. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-3-9>

Величина дополнительной звукоизоляции ограждений с гибкими плитами на отnose зависит от большого количества факторов влияющих на звукоизолирующие качества ограждения, как по отдельности, так и комплексно. По этой причине для проектирования ограждений с гибкими плитами на отnose, обладающих высокой звукоизолирующей способностью, необходимо иметь надежные сведения о влиянии различных параметров и свойств элементов ограждающей конструкции на ее звукоизоляцию. Получение таких данных возможно на основе проведения комплекса экспериментальных исследований звуко-

изоляции ограждений в условиях реверберационных помещений, отвечающих требованиям действующих нормативных документов. Для выполнения подобных изысканий разработана программа исследований влияния некоторых параметров ограждений с гибкими плитами на отnose и физико-механических характеристик их конструктивных элементов на звукоизоляцию ограждений (табл. 1).

Акустическая эффективность легких ограждающих конструкций, выполненных из листовых материалов, существенно зависит от их характеристик [1–8]. В случае слоистых вибродемпфированных элементов

Таблица 1
Table 1

Программа исследования влияния некоторых параметров ограждений с гибкими плитами на относительные и физико-механические характеристики их элементов на величину звукоизоляции ограждений
The program of studying the influence of some parameters of fences with flexible slabs at a distance and the physical and mechanical characteristics of their elements on the value of sound insulation of fences

Исследуемые параметры ограждений с гибкой плитой на относительные	Вид измерений звукоизоляции
Оценка влияния конструктивного решения гибкой плиты на дополнительную звукоизоляцию ограждения с гибкой плитой на относительные	Измерение звукоизоляции ограждения при гибких плитах, соединенных «насухо», и при гибких плитах из слоистых вибродемпфированных элементов при наличии воздушного зазора и зазора, заполненного звукопоглощающим материалом
Оценка влияния поверхностной плотности основной конструкции на дополнительную звукоизоляцию за счет гибкой плиты на относительные	Измерение звукоизоляции ограждения с основной конструкцией из различных материалов с разными поверхностными плотностями при воздушном зазоре и зазоре, заполненном звукопоглощающим материалом
Оценка влияния одностороннего и двухстороннего расположения гибких плит на относительные на звукоизоляцию ограждения	Измерение звукоизоляции ограждения с односторонним расположением гибких плит на относительные со стороны помещения высокого или низкого уровней шума и с двухсторонним расположением гибких плит на относительные

кроме материала листов оказывает влияние также вибропоглощающий материал. Эффективность этих конструкций зависит от жесткости отдельных листов и элементов в целом, а также от их коэффициентов потерь звуковой энергии. В работе произведена экспериментальная оценка звукоизолирующей способности ограждений с гибкими плитами из различных листовых материалов, соединенных «насухо» или в виде слоистых вибродемпфированных элементов.

Исследования производились на ограждениях с гибкими плитами, соединенными с основной конструкцией через воздушный зазор, а также при заполнении зазора звукопоглощающим материалом. Конструкции гибких плит состояли из двух листов, а в случае слоистых вибродемпфированных элементов из двух листов, соединенных вибропоглощающей мастикой Акцент 117. Исследовались конструкции гибких плит с листами ОСП толщиной 9 мм и поверхностной плотностью 5,9 кг/м²; толщиной 12 мм и поверхностной плотностью 8,1 кг/м²; толщиной 15 мм и поверхностной плотностью 9,9 кг/м²; ЦСП толщиной 10 мм и поверхностной плотностью 13,3 кг/м²; толщиной 12 мм и поверхностной плотностью 15,3 кг/м²; толщиной 16 мм и поверхностной плотностью 22 кг/м²; ГКЛ толщиной 12,5 мм и поверхностной плотностью 8,8 кг/м². В качестве звукопоглощающего материала использовали минераловатные плиты Роквул Акустик Баттс толщиной 50 мм и объемной плотностью 45 кг/м³. Рассматривались два варианта основной конструкции: из гипсовых пазогребневых плит толщиной 80 мм с объемной плотностью 1100 кг/м³ и поверхностной плотностью 88 кг/м² и из кирпичной кладки толщиной 95 мм на цементно-песчаном растворе с объемной плотностью 1900 кг/м³ и поверхностной плотностью 180,5 кг/м². Зазор между основной конструкцией и гибкими плитами во всех случаях принимался равным 50 мм.

На основе экспериментальных частотных характеристик звукоизоляции ограждений получены индексы изоляции R_w , дБ. В результате выполненных экспериментов установлено влияние материалов конструкций на звукоизоляцию ограждений. Результаты исследований, представленные в табл. 2 и 3, свидетельствуют о следующем:

– существенное влияние на величину дополнительной звукоизоляции оказывает соотношение поверхностных плотностей основной конструкции и конструкции гибких плит. С увеличением поверхностной плотности гибких плит по отношению к поверхностной плотности основной конструкции дополнительная звукоизоляция возрастает. В данном случае ее величина при основной конструкции из гипсовых пазогребневых плит и воздушном зазоре составляет 6–15 дБ. В случае заполнения зазора звукопоглощающим материалом дополнительная звукоизоляция составляет 11–17 дБ. При основной конструкции из кирпича с большей поверхностной плотностью рост дополнительной звукоизоляции несколько меньше и при воздушном зазоре составляет 6–9 дБ, а при заполнении зазора звукопоглощающим материалом 8–10 дБ. Следовательно, эффективность гибких плит на относительные существенно выше при устройстве их на легких ограждающих конструкциях по сравнению с тяжелыми конструкциями. По этой причине наибольшая акустическая эффективность гибких плит будет достигаться при устройстве их на перегородках, выполненных из легких материалов с поверхностной плотностью до 200 кг/м²;

– акустическая эффективность применения гибких плит из слоистых вибродемпфированных элементов вместо гибких плит из листов, соединенных «насухо», составляет 2–3 дБ. Большая эффективность слоистых вибродемпфированных элементов наблюдается в случае устройства их на легких ограждающих

Таблица 2
Table 2

Влияние конструкции гибких плит на отnose на звукоизоляцию ограждения
при основной конструкции из гипсовых пазогребневых плит
Influence of the design of flexible slabs at a distance on the sound insulation
of the fence with the main structure of gypsum tongue-and-groove slabs

Вид материала гибких плит	Объемная плотность, кг/м ³	Толщина одного листа, мм	Поверхностная плотность гибкой плиты, кг/м ²	Вид заполнения зазора	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, для конструкции с гибкими плитами (ГП)		Изменение индекса изоляции воздушного шума R_w , дБ, конструкции с гибкой плитой (ГП) на отnose по отношению к индексу изоляции воздушного шума основной конструкции с $R_w=40$ дБ	
					ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ	ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ
ОСП	656	9	11,8	ВЗ	46	48	6	8
				ЗПМ	51	52	11	12
	675	12	16,2	ВЗ	48	51	8	11
				ЗПМ	53	54	13	14
	660	15	19,8	ВЗ	49	53	9	13
				ЗПМ	54	55	14	15
ГКЛ	704	12,5	17,6	ВЗ	49	52	9	12
				ЗПМ	54	55	14	15
ЦСП	1340	10	26,8	ВЗ	51	54	11	14
				ЗПМ	55	56	15	16
	1254	12	30,1	ВЗ	51	54	11	14
				ЗПМ	55	56	15	16
	1378	16	44,1	ВЗ	52	55	12	15
				ЗПМ	56	57	16	17

Таблица 3
Table 3

Влияние конструкции гибких плит на отnose на звукоизоляцию ограждения
при основной конструкции из оштукатуренной кирпичной кладки
Influence of the design of flexible slabs at a distance on the sound insulation
of the fence with the main structure of plastered brickwork

Вид материала гибких плит	Объемная плотность, кг/м ³	Толщина одного листа, мм	Поверхностная плотность гибкой плиты, кг/м ²	Вид заполнения зазора	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, для конструкции с гибкими плитами (ГП)		Изменение индекса изоляции воздушного шума R_w , дБ, конструкции с гибкой плитой (ГП) на отnose по отношению к индексу изоляции воздушного шума основной конструкции с $R_w=40$ дБ	
					ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ	ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ
ОСП	656	9	11,8	ВЗ	55	55	6	6
				ЗПМ	57	57	8	8
	675	12	16,2	ВЗ	56	56	7	7
				ЗПМ	57	57	8	8
	660	15	19,8	ВЗ	56	57	7	8
				ЗПМ	58	59	9	10
ГКЛ	704	12,5	17,6	ВЗ	56	56	7	7
				ЗПМ	57	57	8	8
ЦСП	1340	10	26,8	ВЗ	57	58	8	9
				ЗПМ	58	59	9	10
	1254	12	30,1	ВЗ	58	58	9	9
				ЗПМ	59	59	10	10
	1378	16	44,1	ВЗ	58	58	9	9
				ЗПМ	59	59	10	10

Таблица 4
Table 4

Влияние изменения поверхностной плотности и жесткости гибких плит на звукоизоляцию ограждений при основной конструкции из гипсовых пазогребневых плит
Influence of changes in the surface density and rigidity of flexible boards on the sound insulation of fences with the main structure of gypsum tongue-and-groove boards

Материал, объемная плотность, кг/м ³ , гибкой плиты	Толщина, мм, поверхностная плотность, кг/м ² , гибкой плиты	Отношение поверхностной плотности гибкой плиты к поверхностной плотности основной конструкции	Вид заполнения зазора	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, для конструкции гибких плит (ГП)		Изменение индекса изоляции воздушного шума R_w , дБ, с гибкой плитой на отnose по отношению к индексу изоляции воздушного шума основной конструкции с $R_w=40$ дБ	
				ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ	ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ
ОСП	2×9	79,4/11,8=6,7	ВЗ	46	48	6	8
			ЗПМ	51	52	11	12
	2×12	79,4/16,2=4,9	ВЗ	48	51	8	11
			ЗПМ	53	54	13	14
	2×15	79,4/19,8=4	ВЗ	49	53	9	13
			ЗПМ	54	55	14	15
ЦСП	2×10	79,4/26,8=3	ВЗ	51	54	11	14
			ЗПМ	55	56	15	16
	2×12	79,4/30,1=2,6	ВЗ	51	54	11	14
			ЗПМ	55	56	15	16
	2×16	79,4/44,1=1,8	ВЗ	52	55	12	15
			ЗПМ	56	57	16	17

конструкциях. Чем выше поверхностная плотность основной конструкции, тем ниже эффект от устройства слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с листами, соединенными «насухо».

Устройство гибких плит на отnose с двух сторон основной конструкции в случае воздушного зазора повышает дополнительную звукоизоляцию по отношению к одностороннему расположению плит на 5–6 дБ, а при заполнении зазора звукопоглощающим материалом это повышение составляет 3–4 дБ. Разница в дополнительной звукоизоляции за счет применения слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с гибкими плитами, соединенными «насухо», не превышает 2 дБ при воздушном зазоре, а при заполнении зазора звукопоглощающим материалом равна нулю.

Известно [9–11], что изменение поверхностной плотности и жесткости слоистых вибродемпфированных элементов и листов, соединенных «насухо», существенно влияет на их звукоизоляцию. Поверхностная плотность зависит от толщины и объемной плотности материала, жесткость определяется динамическим модулем упругости.

Для оценки влияния поверхностной плотности на звукоизоляцию были выполнены измерения звукоизоляции ограждений с гибкими плитами из разных материалов при изменении их толщины. Исследования осуществлялись при основной конструкции из гипсовых пазогребневых плит толщиной 80 мм с объемной плотностью 1100 кг/м³ и поверхностной плот-

ностью 88 кг/м² и оштукатуренной кирпичной кладки на цементно-песчаном растворе толщиной 95 мм с объемной плотностью 1900 кг/м³ и поверхностной плотностью 180,5 кг/м². В качестве гибких плит использовались два листа ОСП или два листа ЦСП при трех вариантах толщины листов, соединенных «насухо» или склеенных вибропоглощающей мастикой. За счет изменения толщины листов изменялись поверхностная плотность и жесткость гибких плит.

Исследования выполнялись при не заполненном и заполненном звукопоглощающим материалом зазоре. В качестве звукопоглощающего материала использовались минераловатные плиты Роквул Акустик Баттс плотностью 45 кг/м³, толщиной 50 мм. Измерения выполнялись при зазоре между гибкой плитой и основной конструкцией, равном 50 мм.

На основании полученных частотных характеристик определены индексы изоляции воздушного шума для различных вариантов конструкций и установлена степень влияния изменения поверхностной плотности и жесткости на звукоизоляцию ограждения. Результаты оценки этого влияния представлены в табл. 4 и 5.

На основании полученных данных установлено следующее:

– с увеличением поверхностной плотности основной конструкции и при постоянной поверхностной плотности гибких плит величина дополнительной звукоизоляции снижается;

Таблица 5
Table 5

Влияние изменения поверхностной плотности и жесткости гибких плит на звукоизоляцию ограждений при основной конструкции из оштукатуренной кирпичной кладки
Influence of changes in the surface density and rigidity of flexible slabs on the sound insulation of fences with the main structure of plastered brickwork

Материал, объемная плотность, кг/м ³ , гибкой плиты	Толщина, мм, поверхностная плотность, кг/м ² , гибкой плиты	Отношение поверхностной плотности гибкой плиты к поверхностной плотности основной конструкции	Вид заполнения зазора	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, для конструкции гибких плит (ГП)		Изменение индекса изоляции воздушного шума R_w , дБ, с гибкой плитой на отnose по отношению к индексу изоляции воздушного шума основной конструкции с $R_w=40$ дБ	
				ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ	ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ
ОСП	2×9	186/11,8=15,8	ВЗ	55	55	6	6
			ЗПМ	57	57	8	8
	2×12	186/16,2=11,5	ВЗ	56	56	7	7
			ЗПМ	57	57	8	8
	2×15	186/19,8=9,4	ВЗ	56	57	7	8
			ЗПМ	58	59	9	9
ЦСП	2×10	186/26,8=6,9	ВЗ	57	58	8	9
			ЗПМ	58	59	9	10
	2×12	186/30,1=6,2	ВЗ	58	58	9	9
			ЗПМ	59	59	10	10
	2×16	186/44,1=4,2	ВЗ	58	58	9	9
			ЗПМ	59	59	10	10

– рост поверхностной плотности и жесткости гибких плит приводит к росту дополнительной звукоизоляции ограждения. В начале увеличения плотности и жесткости гибких плит этот рост более значителен, а затем существенно замедляется. Особенно это заметно в случае тяжелой основной конструкции;

– в случае легкой ограждающей конструкции, в данной ситуации из гипсовых пазогребневых плит, конструкция гибких плит из ОСП, обеспечивающая акустическую эффективность при экономически целесообразных затратах на ее устройство, должна состоять из двух плит ОСП при толщине каждой не более 15 мм, а конструкция из плит ЦСП должна иметь плиты толщиной 12 мм. Для тяжелой конструкции, в данном случае из кирпичной кладки, толщина отдельных плит, обеспечивающих акустическую эффективность, должна для ОСП составлять 15 мм, а для ЦСП 12 мм;

– акустическая эффективность гибких плит из слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с плитами, соединенными «насухо», проявляется только при легких ограждениях и составляет 1–3 дБ. В случае тяжелых конструкций эффективность не превышает 1 дБ.

Для повышения звукоизоляции ограждений гибкие плиты на отnose устраивают как со стороны шумного, так и со стороны тихого помещения. Для большего повышения звукоизоляции ограждения гибкие плиты могут устанавливаться с обеих сторон основ-

ной конструкции. Для оценки дополнительной звукоизоляции при различном расположении гибких плит на отnose проведены экспериментальные исследования ограждения из гипсовых пазогребневых плит толщиной 80 мм, плотностью 1100 кг/м³. В качестве гибких плит использовали два листа ГКЛ толщиной по 12,5 мм, соединенных «насухо» или вибропоглощающей мастикой Акцент 117. Величина воздушного зазора (ВЗ) составляла 50 мм. В качестве звукопоглощающего материала при заполнении воздушного зазора использовался Роквул Акустик Баттс толщиной 50 мм, плотностью 45 кг/м³.

На основании полученных частотных характеристик определены индексы изоляции воздушного шума и дополнительная звукоизоляция с заполнением и без заполнения воздушного зазора звукопоглощающим материалом. Результаты исследований представлены в табл. 6.

Из данных табл. 6 следует:

– расположение гибких плит на отnose как со стороны помещения высокого уровня, так и со стороны помещения низкого уровня дает одинаковые значения дополнительной звукоизоляции;

– устройство гибких плит на отnose с двух сторон основной конструкции в случае воздушного зазора повышает дополнительную звукоизоляцию по отношению к одностороннему расположению плит на 5–6 дБ, а при заполнении зазора ЗПМ это повышение составляет 3–4 дБ;

Таблица 6
Table 6

**Влияние гибких плит на отnose с односторонним и двухсторонним расположением
на звукоизоляцию ограждения**
**Influence of flexible slabs on the offset with one-sided and two-sided arrangement
on the soundproofing of the fence**

Расположение гибких плит по отношению к реверберационным помещениям высокого (ПВУ) и низкого (ПНУ) уровней	Вид заполнения зазора толщиной 50 мм	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, при конструкции гибких плит (ГП)		Изменение индекса изоляции воздушного шума R_w , дБ, с гибкой плитой на отnose по отношению к индексу изоляции воздушного шума основной конструкции с $R_w=40$ дБ	
		ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ	ГП соединены «насухо»	ГП из СВДЭ
Со стороны ПВУ	ВЗ	49	51	9	11
	ЗПМ	54	55	14	15
Со стороны ПНУ	ВЗ	49	51	9	11
	ЗПМ	54	55	14	15
С обеих сторон	ВЗ	55	56	15	16
	ЗПМ	58	58	18	18

– разница в дополнительной звукоизоляции за счет применения слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с гибкими плитами, соединенными «насухо», не превышает 2 дБ при воздушном зазоре, а при заполнении зазора звукопоглощающим материалом равна нулю.

По результатам выполненных экспериментальных исследований и их анализа получены следующие выводы и рекомендации.

На величину дополнительной звукоизоляции ограждения оказывает влияние соотношение поверхностных плотностей гибких плит и основной конструкции. Установлено, что для легких ограждающих конструкций из гипсовых пазогребневых плит с индексом изоляции $R_w=40$ дБ акустически эффективно и экономически целесообразно применять конструкции гибких плит из двух листов для ОСП с толщиной листа, равной 15 мм, ГКЛ с толщиной листа 12,5 мм, ЦСП с толщиной листа 12 мм. При устройстве гибких плит на более тяжелых конструкциях их акустическая эффективность резко снижается. Например, при увеличении поверхностной плотности основной конструкции от 79,4 кг/м² (гипсовые пазогребневые плиты) до 186 кг/м² (кирпичная кладка) дополнительная изоляция по индексу R_w снижается на 5 дБ. Гибкие плиты по условиям акустической и экономической эффективности целесообразно применять при

повышении звукоизоляции ограждений, из которых собственный индекс изоляции воздушного шума R_w составляет 40–50 дБ.

Рост поверхностной плотности и жесткости гибких плит по отношению к основной конструкции приводит к росту дополнительной звукоизоляции ограждения. В начале увеличения плотности и жесткости гибких плит этот рост более значителен и затем существенно замедляется. Особенно это заметно в случае тяжелой основной конструкции. При этом акустическая эффективность гибких плит из слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с плитами, соединенными «насухо», проявляется только при легких ограждениях и составляет 1–3 дБ. В случае тяжелых конструкций эффективность не превышает 1 дБ.

Устройство гибких плит на отnose с двух сторон основной конструкции в случае воздушного зазора повышает дополнительную звукоизоляцию по отношению к одностороннему расположению плит на 5–6 дБ, а при заполнении зазора звукопоглощающим материалом это повышение составляет 3–4 дБ. Разница в дополнительной звукоизоляции за счет применения слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с гибкими плитами, соединенными «насухо», не превышает 2 дБ при воздушном зазоре, а при заполнении зазора звукопоглощающим материалом равна нулю.

Список литературы

1. Бобылев В.Н., Гребнев П.А., Ерофеев В.И., Кузьмин Д.С., Мониц Д.В. Звукоизоляция бескаркасных сэндвич-панелей с пазогребневым соединением среднего слоя // *Приволжский научный журнал*. 2020. № 3 (55). С. 9–18.

References

1. Bobilev V.N., Grebnev P.A., Erofeev V.I., Kuzmin D.S., Monich D.V. Sound insulation of frameless sandwich panels with a groove-ridge connection of the middle layer. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2020. No. 3 (55), pp. 9–18. (In Russian).

2. 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.
3. Ерофеев В.И., Монич Д.В. Резервы повышения звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций зданий // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2020. Т. 22. № 5. С. 98–110.
4. Дымченко В.В., Ерофеев В.И., Монич Д.В. Звукоизоляция каркасно-обшивных перегородок. *Труды Всероссийской акустической конференции. Материалы III Всероссийской конференции*. 2020. С. 499–501.
5. Кочкин А.А., Шубин И.Л., Шашкова Л.Э., Кочкин Н.А. Проектирование звукоизоляции слоистых элементов конечных размеров // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4 (364). С. 161–167.
6. Минаева Н.А. Исследования влияния инновационного материала тексаунд на звукоизолирующие свойства строительных перегородок // *БСТ*. 2021. № 6 (1042). С. 18–19.
7. Минаева Н.А. Анализ звукоизоляционных качеств каркасно-обшивных перегородок // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 4. С. 137–141.
8. Лелюга О.В., Овсянников С.Н., Шубин И.Л. Исследования звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций с учетом структурной звукопередачи // *БСТ*. 2018. № 7 (1007). С. 39–43.
9. Кочкин А.А., Шубин И.Л., Кочкин Н.А., Киряткова А.В. О регулировании звукоизоляции слоистых вибродемпфированных элементов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4 (364). С. 181–187.
10. Кочкин А.А., Киряткова А.В., Кочкин Н.А. Повышение звукоизоляции легких ограждений с применением слоистых вибродемпфированных элементов. *Вузовская наука – региону. Материалы XIV Всероссийской научной конференции*. Вологда: Министерство образования и науки Российской Федерации, Правительство Вологодской области, Вологодский государственный университет, 2016. С. 174–177.
11. Кочкин А.А., Шашкова Л.Э. Повышение звукоизоляции слоистых вибродемпфированных ограждений путем уменьшения их изгибной жесткости // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2011. № 5 (38). Ч. 2. С. 159–162.
2. Bobylev V.N., Dymchenko V.V., Erofeev V.I., Monich D.V., Khazov P.A. Analysis of the effect of the type of rack profile on the sound insulation of a frame-sheathing partition with a single frame by finite element modeling. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2019. No. 4 (52), pp. 18–22. (In Russian).
3. Erofeev V.I., Monich D.V. Reserves for increasing the sound insulation of single-layer and multi-layer enclosing structures of buildings. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2020. Vol. 22. No. 5, pp. 98–110. (In Russian).
4. Dymchenko V.V., Erofeev V.I., Monich D.V. Sound insulation of frame-sheathing partitions. *Proceedings of the All-Russian Acoustic Conference. Materials of the III All-Russian Conference*. 2020, pp. 499–501. (In Russian).
5. Kochkin A.A., Shubin I.L., Shashkova L.E., Kochkin N.A. Designing sound insulation of layered elements of finite dimensions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2016. No. 4 (364), pp. 161–167. (In Russian).
6. Minaeva N.A. Studies of the influence of innovative texound material on the sound-proofing properties of building partitions. *BST*. 2021. No. 6 (1042), pp. 18–19. (In Russian).
7. Minaeva N.A. Analysis of sound-proofing qualities of frame-sheathing partitions. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2018. No. 4, pp. 137–141. (In Russian).
8. Lelyuga O.V., Ovsyannikov S.N., Shubin I.L. Studies of sound insulation of internal enclosing structures taking into account structural sound transmission. *BST*. 2018. No. 7 (1007), pp. 39–43. (In Russian).
9. Kochkin A.A., Shubin I.L., Kochkin N.A., Kiryatkova A.V. On the regulation of sound insulation layered vibration-damped elements. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2016. No. 4 (364), pp. 181–187. (In Russian).
10. Kochkin A.A., Kiryatkova A.V., Kochkin N.A. Improving the sound insulation of light fences using layered vibration damped elements. *University science – to the region. Materials of the XIV All-Russian Scientific Conference*. Vologda: Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Government of the Vologda Region, Vologda State University. 2016, pp. 174–177.
11. Kochkin A.A., Shashkova L.E. Increasing the sound insulation of layered vibration damped fences by reducing their bending stiffness. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. No. 5 (38). Part 2, pp. 159–162. (In Russian).

УДК 699.844

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-10-16>

Д.С. КУЗЬМИН¹, аспирант (jazz-m@yandex.ru),
Д.В. МОНИЧ¹, д-р техн. наук (dmitriy.monich@mail.ru),
П.А. ГРЕБНЕВ¹, канд. техн. наук (p.grebnev@mail.ru);
М.А. ПОРОЖЕНКО², инженер (mporoz@mail.ru)

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

² Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Способы повышения звукоизоляции легких перегородок с торкрет-облицовками

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции легких перегородок с торкрет-облицовками. Поиск способов повышения звукоизоляции ограждающих конструкций без значительного увеличения толщины и массы является актуальным направлением строительной акустики. Бескаркасные сэндвич-панели с торкрет-облицовками имеют перспективы широкого внедрения в качестве легких ограждений между помещениями в гражданских и промышленных зданиях. Технология торкретирования обеспечивает быстрое и качественное выполнение монолитных облицовок из гипсового раствора. Для выполнения нормативных требований по изоляции воздушного шума необходимо снижение резонансного прохождения звука вблизи резонансных провалов в диапазонах средних и высоких частот. Проведены теоретические исследования на основе теории самосогласования волновых полей и определены способы повышения звукоизоляции легких перегородок. Способ акустического разобщения торкрет-облицовок и среднего слоя сэндвич-панелей обеспечивает смещение резонансной частоты системы «масса–упругость–масса» ниже нормируемого диапазона частот. Способ фрагментирования торкрет-облицовок обеспечивает смещение граничной частоты области полных пространственных резонансов выше нормируемого диапазона частот. Для проверки эффективности проведены лабораторные экспериментальные исследования звукоизоляции трех образцов легких перегородок. Оба разработанных способа повышения звукоизоляции ограждений показали высокую эффективность. Наиболее эффективным является совместное применение двух способов, при этом повышение индекса изоляции воздушного шума ограждения составляет 15 дБ. По результатам проведенных исследований разработаны два новых типа легких перегородок с торкрет-облицовками, удовлетворяющих нормативным требованиям по величине индекса изоляции воздушного шума для жилых и общественных зданий.

Ключевые слова: звукоизоляция, легкие перегородки, сэндвич-панель, торкрет-облицовки, резонансное прохождение звука, инерционное прохождение звука.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант 21-19-00813).

Для цитирования: Кузьмин Д.С., Монич Д.В., Гребнев П.А., Пороженко М.А. Способы повышения звукоизоляции легких перегородок с торкрет-облицовками // *Жилищное строительство*. 2023. № 7. С. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-10-16>

D.S. KUZMIN¹, Postgraduate Student (jazz-m@yandex.ru), D.V. MONICH¹, Doctor of Sciences (Engineering) (dmitriy.monich@mail.ru),
P.A. GREBNEV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (p.grebnev@mail.ru); M.A. POROZHENKO², Engineer (mporoz@mail.ru)

¹ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilyinskaya Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation)

² Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyi Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Ways to Increase the Sound Insulation of Light Partitions with Shotcrete Claddings

The results of theoretical and experimental studies of sound insulation of light partitions with shotcrete claddings are presented. The search for ways to increase the sound insulation of enclosing structures without a significant increase of thickness and mass is an actual direction in building acoustics. Frameless sandwich panels with shotcrete claddings have prospects for widespread use as lightweight partitions between rooms in civil and industrial buildings. Shotcrete technology provides fast and high-quality execution of monolithic claddings from gypsum mortar. To meet the regulatory requirements for airborne sound insulation, it is necessary to reduce the resonant sound transmission near resonant dips in the medium and high frequency ranges. Theoretical studies have been carried out on the basis of the theory of self-coincidence of wave fields, and methods for increasing of sound insulation of light partitions have been determined. The method of acoustic separation of shotcrete claddings and the middle layer of sandwich panels provides a shift in the resonant frequency of the “mass-elasticity-mass” system below the normalized frequency range. The method of fragmentation of shotcrete linings provides a shift of the cutoff frequency of the region of full spatial resonances above the normalized frequency range. To test the effectiveness, laboratory experimental studies of sound insulation of three samples of light parti-

tions were carried out. Both developed methods for increasing the sound insulation of enclosures showed high efficiency. The most effective is the combined use of two methods, at the same time the increase in the airborne sound insulation index of the fence was 15 dB. Based on the results of the conducted research, two new types of lightweight partitions with shotcrete claddings have been developed that meet the regulatory requirements for the value of the airborne noise insulation index for residential and public buildings.

Keywords: sound insulation, light partitions, sandwich-panel, shotcrete claddings, resonant sound transmission, inertial sound transmission.

The study was supported by the Russian Science Foundation (grant 21-19-00813).

For citation: Kuzmin D.S., Monich D.V., Grebnev P.A., Porozhenko M.A. Ways to increase of sound insulation of light partitions with shotcrete claddings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 7, pp. 10–16. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-10-16>

Звукоизоляция ограждающих конструкций является одним из наиболее эффективных способов защиты от шума внутри гражданских и промышленных зданий. Исследования новых типов ограждений необходимы для эффективного снижения шумового воздействия на человека, ежегодный рост которого в урбанизированной среде отмечается многими исследователями [1–2]. Проблему шумового загрязнения городов усложняет отсутствие научного обоснования для многих конструктивных решений стен и перегородок, применяющихся в современном строительстве. Это приводит к нарушениям нормативных требований по звукоизоляции уже на этапе проектирования зданий [3]. В процессе эксплуатации данные нарушения могут быть устранены путем монтажа дополнительных звукоизолирующих облицовок [4], однако при этом происходит увеличение толщины ограждения и соответственно уменьшение полезной площади помещений. В связи с этим актуальным направлением строительной акустики является поиск способов повышения звукоизоляции ограждающих конструкций без значительного увеличения толщины и массы.

Одним из перспективных видов легких звукоизолирующих перегородок являются бескаркасные сэндвич-панели с торкрет-облицовками. Применение технологии торкретирования позволяет быстро и качественно выполнить монолитные облицовки путем нанесения гипсового раствора на средний слой из минеральной ваты или подобного материала. В работе [5] по результатам экспериментальных исследований установлено, что звукоизоляция сэндвич-панелей с торкрет-облицовками значительно снижается из-за резонансных явлений: 1) вблизи резонансной частоты системы «масса–упругость–масса» («торкрет-облицовка–средний слой–торкрет-облицовка»), расположенной в диапазоне средних частот ($f = 400–800$ Гц); 2) вблизи граничной частоты области полных пространственных резонансов (ППР) монолитной облицовки, расположенной в диапазоне высоких частот ($f = 1250–4000$ Гц).

Целью научной работы является определение способов повышения звукоизоляции сэндвич-панелей с торкрет-облицовками без значительного увеличения толщины и массы.

Теоретические исследования проведены по теории самосогласования волновых полей [6–7], согласно которой коэффициент прохождения звука через ограждение имеет резонансную и инерционную составляющие:

$$\tau = \tau_r + \tau_i, \quad (1)$$

где τ_r – коэффициент резонансного прохождения звука через ограждение; τ_i – коэффициент инерционного прохождения звука через ограждение.

Коэффициент резонансного прохождения звука через сэндвич-панель определяется по формуле [6]:

$$\tau_r = \tau_{sr} + \tau_{1r}\tau_{2r}, \quad (2)$$

где τ_{sr} – коэффициент резонансного прохождения звука через обе торкрет-облицовки с упругой связью между ними; τ_{1r} – коэффициент резонансного прохождения звука через торкрет-облицовку со стороны помещения с источником шума; τ_{2r} – коэффициент резонансного прохождения звука через торкрет-облицовку со стороны помещения, защищаемого от шума.

Коэффициент прохождения звука через обе торкрет-облицовки с упругой связью между ними определяется по формуле [6]:

$$\tau_{sr} = \frac{1}{\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2} \frac{\mu^2 f^2}{A^2} \left(\frac{f^2}{f_{msm}^2} - 1 \right)^2 + 1}, \quad (3)$$

где $\rho_0 c_0 = 420$ кг/м²·с – характеристический импеданс воздуха; μ – поверхностная плотность сэндвич-панели, кг/м²; f – текущая частота звука, Гц; A – характеристика самосогласования собственного волнового поля торкрет-облицовок со звуковыми полями в помещениях с обеих сторон ограждения; f_{msm} – резонансная частота системы «масса–упругость–масса» («торкрет-облицовка–средний слой–торкрет-облицовка»), Гц.

Коэффициенты резонансного прохождения звука через первую и вторую торкрет-облицовки в области простых пространственных резонансов (ПрПР) и неполных пространственных резонансов (НПР) определяются по формулам [6]:

$$\tau_{1r} = \frac{1}{\frac{1,15\pi^3}{8\rho_0^2 c_0^2 A^4} \mu_1^2 f^2 \eta_1 \cos^2 \theta_m + 1}; \quad \tau_{2r} = \frac{1}{\frac{1,15\pi^3}{8\rho_0^2 c_0^2 A^4} \mu_2^2 f^2 \eta_2 \cos^2 \theta_2 + 1}, \quad (4)$$

где $\rho_0 c_0 = 420 \text{ кг/м}^2\text{с}$ – характеристический импеданс воздуха; A – характеристика самосогласования собственного волнового поля торкрет-облицовок со звуковыми полями в помещениях с обеих сторон ограждения; μ_1 – поверхностная плотность торкрет-облицовки, кг/м^2 ; f – текущая частота звука, Гц; η_1 – коэффициент потерь материала торкрет-облицовки; $\theta_m = 51,76^\circ$ – средний угол падения волн диффузного звукового поля на торкрет-облицовку со стороны помещения с источником шума; θ_2 – угол падения звуковых волн из объема, занимаемого средним слоем, на торкрет-облицовку со стороны помещения, защищаемого от шума, град.

На рис. 1 приведены обобщенные частотные характеристики предельной звукоизоляции и собственной звукоизоляции легкой перегородки в виде бескаркасной сэндвич-панели с торкрет-облицовками, построенные с применением формул (1)–(4). Резервы повышения звукоизоляции ограждения обозначены штриховкой. Здесь наглядно видно, что наибольшие резервы повышения звукоизоляции расположены вблизи резонансной частоты системы «масса–упругость–масса» («торкрет-облицовка–средний слой–торкрет-облицовка»), f_{msm} , а также вблизи граничной частоты области ППР для торкрет-облицовок, f_{bmn} .

Уменьшить резонансные провалы звукоизоляции и использовать резервы повышения звукоизоляции исследуемых легких перегородок можно путем снижения коэффициента резонансного прохождения звука (τ_r). Идеальным и недостижимым на практике случаем является полное отсутствие резонансного прохождения звука через ограждающую конструкцию ($\tau_r=0$). В этом случае звукоизоляция ограждения будет соответствовать своим предельным значениям (R_{max} , кривая 2, рис. 1), которые определяются только инерционным прохождением звука (τ_i) – см. формулу (1).

Теоретический анализ формул (3), (4) позволяет определить способы снижения коэффициента резонансного прохождения звука (τ_r):

1) уменьшение коэффициента резонансного прохождения звука через обе торкрет-облицовки с упругой связью между ними (τ_{sr}) – путем уменьшения резонансной частоты системы «масса–упругость–масса» («торкрет-облицовка–средний слой–торкрет-облицовка»), f_{msm} : а) путем увеличения толщины среднего слоя сэндвич-панели (h_2); б) путем уменьшения модуля упругости материала среднего слоя (E_2); в) путем увеличения поверхностной плотности торкрет-облицовок (μ_1);

2) уменьшение коэффициентов резонансного прохождения звука через торкрет-облицовки (τ_{1r}, τ_{2r}): а) путем уменьшения характеристики самосогласования волновых полей (A); б) путем увеличения коэффициента потерь материала торкрет-облицовок (η_1);

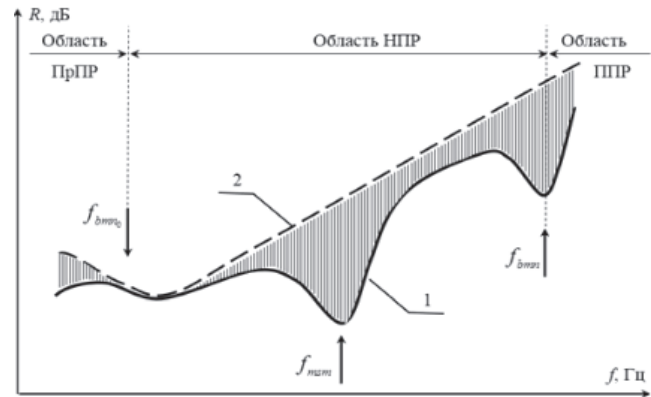


Рис. 1. Обобщенные частотные характеристики звукоизоляции легкой перегородки в виде бескаркасной сэндвич-панели с торкрет-облицовками: 1 – собственная звукоизоляция (R); 2 – предельная звукоизоляция (R_{max}); f_{bmn0} – граничная частота области неполных пространственных резонансов (НПР); f_{bmn} – граничная частота области полных пространственных резонансов (ППР) торкрет-облицовки; f_{msm} – резонансная частота системы «масса–упругость–масса» («торкрет-облицовка–средний слой–торкрет-облицовка») **Fig. 1.** Generalized frequency characteristics of sound insulation of a light partition in the form of a frameless sandwich panel: 1 – own sound insulation (R); 2 – ultimate sound insulation (R_{max}); f_{bmn0} is the cutoff frequency of the region of incomplete spatial resonances; f_{bmn} is the cutoff frequency of the region of total spatial resonances; f_{msm} is the resonant frequency of the “mass–elasticity–mass” system (“shotcrete cladding–middle layer–shotcrete cladding”)

в) путем увеличения угла падения звуковых волн из объема, занимаемого средним слоем, на торкрет-облицовку со стороны помещения, защищаемого от шума (θ_2).

Рассмотренные способы показаны на рис. 2 в виде схемы. При этом способы, одинаковые для п. 1 и п. 2, не дублируются. В прямоугольниках с пунктирным контуром приведены конструктивные изменения сэндвич-панели, которые потребуются для реализации каждого способа. С учетом сформулированной выше цели научного исследования для дальнейшего рассмотрения оставим только те способы, которые не требуют увеличения толщины и (или) массы ограждения:

1) уменьшение модуля упругости материала среднего слоя (E_2). В работе [8] установлено, что одним из наиболее эффективных практических путей реализации данного способа является акустическое разобщение облицовок и среднего слоя сэндвич-панелей за счет дополнительного упругого слоя;

2) увеличение коэффициента потерь материала торкрет-облицовок (η_1). Данный способ является малоэффективным, так как демпфирующие добавки в материал торкрет-облицовок (резиновая крошка и другие упругие материалы) приведут к снижению их поверхностной плотности и соответственно уменьшению звукоизоляции ограждения в широком диапазоне частот;

3) уменьшение цилиндрической жесткости торкрет-облицовок (D_1). Данный способ должен обеспе-

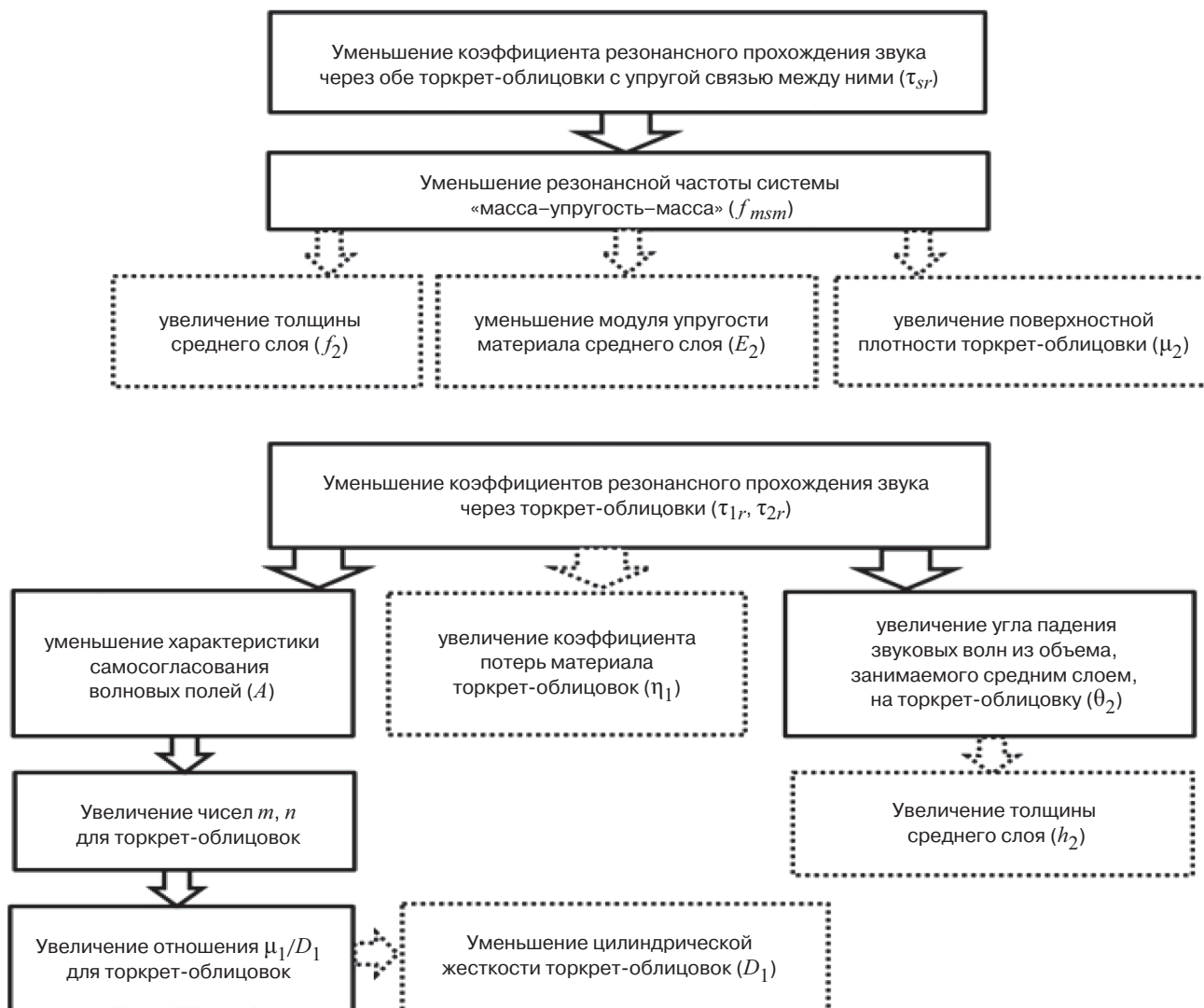


Рис. 2. Способы снижения коэффициента резонансного прохождения звука через легкую перегородку в виде бескаркасной сэндвич-панели с торкрет-облицовками: а – путем уменьшения коэффициента резонансного прохождения звука через обе торкрет-облицовки с упругой связью между ними; б – путем уменьшения коэффициентов резонансного прохождения звука через торкрет-облицовки

Fig. 2. Methods for reducing the coefficient of resonant sound transmission: a – by reducing the coefficient of resonant sound transmission through both shotcrete claddings with an elastic connection between them; b – by reducing the coefficients of resonant sound transmission through shotcrete claddings

чивать увеличение отношения μ_1/D_1 , что возможно при неизменной или малоизменяемой поверхностной плотности торкрет-облицовок. При этом происходит увеличение чисел длин проекций свободных полуволн (m, n) по сторонам торкрет-облицовок (a, b), т. е. уплотнение спектра частот собственных колебаний и соответственно снижение характеристики самосогласования волновых полей (A) в широком диапазоне средних и высоких частот. Практическим путем реализации данного способа является фрагментирование торкрет-облицовок (ослабление поперечного сечения). Этот подход был впервые исследован Л. Кремером, А. Айзенбергом на примере листа фанеры с нанесенными на его поверхность несквозных пропилов, параллельных краям ограждения [9]. Было получено смещение граничной частоты

волнового совпадения в диапазон более высоких частот (с 1600 до 5000 Гц) и повышение звукоизоляции ограждения во всем рассматриваемом диапазоне частот. Ю.М. Ильяшук повторил данный эксперимент для деревянного щита толщиной 22 мм [10]. В дальнейшем подобные экспериментальные исследования были проведены Л.Н. Клячко, И.И. Боголеповым, Л.П. Тимофеевко. В.Н. Бобылев [11] установил, что повышение звукоизоляции ограждений с уменьшенной цилиндрической жесткостью происходит за счет уплотнения спектра частот собственных колебаний и снижения коэффициента звукоизлучения при этом. Д.В. Монич на базе теории самосогласования волновых полей разработал метод расчета оптимальных параметров однослойных ограждающих конструкций с ослабленным поперечным сечением и опре-

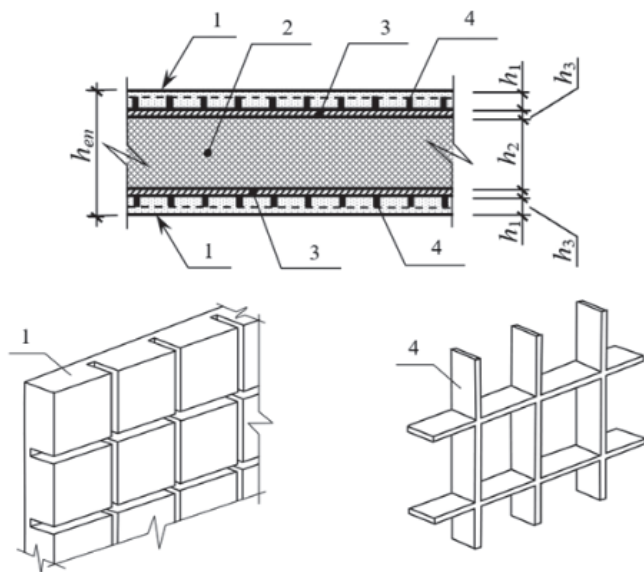


Рис. 3. Схема конструктивного решения легкой бескаркасной перегородки с акустическим разобщением слоев и фрагментированными торкрет-облицовками общей толщиной h_{en} (поперечное сечение): 1 – фрагментированная монолитная торкрет-облицовка (гипсовая смесь) толщиной h_1 ; 2 – средний слой (жесткая минеральная вата или пенопласт) толщиной h_2 ; 3 – упругий слой, обеспечивающий акустическое разобщение среднего слоя и торкрет-облицовок (маты из полиэфирного волокна) толщиной h_3 ; 4 – формообразующая решетка (пенопласт или пластик), обеспечивающая фрагментирование монолитных торкрет-облицовок при нанесении гипсовой смеси

Fig. 3. Scheme of a constructive solution of a frameless lightweight partition with acoustic separation of layers and fragmented shotcrete claddings with a total thickness h_{en} (cross-section): 1 – fragmented monolithic shotcrete claddings (gypsum mixture) with a thickness h_1 ; 2 – middle layer (rigid mineral wool or foam plastics) thickness h_2 ; 3 – elastic layer providing acoustic separation of the middle layer and shotcrete claddings (polyester fiber mats) with thickness h_3 ; 4 – shaping lattice (foam plastics or plastic), providing fragmentation of monolithic shotcrete claddings

делил резервы повышения звукоизоляции данного типа ограждений [12]. А.А. Кочкин, Л.Э. Шашкова, Н.А. Кочкин, А.В. Иванова провели теоретические и экспериментальные исследования вибродемпфированных ограждений с уменьшенной цилиндрической жесткостью [13–14].

По результатам проведенного анализа определены наиболее эффективные способы повышения звукоизоляции легких перегородок с торкрет-облицовками:

1) «Способ-1» «Акустическое разобщение торкрет-облицовок и среднего слоя». Для проверки эффективности данного способа разработан новый тип звукоизолирующего ограждения – легкая бескаркасная перегородка с торкрет-облицовками, с акустическим разобщением слоев. Оформлен патент [15];

2) «Способ-2» «Фрагментирование торкрет-облицовок». Разработан новый тип звукоизолирующего ограждения – легкая бескаркасная перегородка с акустическим разобщением слоев и фрагментированными торкрет-облицовками, в которой одновременно реализованы «Способ-1» и «Способ-2». Оформлен



Рис. 4. Экспериментальные частотные характеристики звукоизоляции легких бескаркасных перегородок с акустическим разобщением слоев и фрагментированными торкрет-облицовками (размеры образцов $2 \times 1,2$ м; монолитные торкрет-облицовки из гипсовой смеси $h_1=24$ мм; средний слой из жесткой минеральной ваты, $h_2=50$ мм; акустическое разобщение из матов полиэфирного волокна, $h_3=4$ мм): 1 – исходный образец (без акустического разобщения слоев и без фрагментирования торкрет-облицовок), общая толщина образца $h_{en}=98$ мм; 2 – образец с акустическим разобщением слоев (реализация «Способа-1»), общая толщина образца $h_{en}=106$ мм; 3 – образец с акустическим разобщением слоев и фрагментированными торкрет-облицовками (совместная реализация «Способа-1» и «Способа-2»), общая толщина образца $h_{en}=106$ мм

Fig. 4. Experimental frequency characteristics of sound insulation of light frameless partitions with acoustic separation of layers and fragmented shotcrete claddings (sample sizes 2×1.2 m; monolithic shotcrete claddings from gypsum mixture, $h_1=24$ mm; middle layer of hard mineral wool, $h_2=50$ mm; acoustic separation from polyester fiber mats, $h_3=4$ mm): 1 – original sample (without acoustic separation of layers and without fragmentation of shotcrete claddings), total sample thickness $h_{en}=98$ mm; 2 – sample with acoustic separation of layers (implementation "Method-1"), the total thickness of the sample $h_{en}=106$ mm; 3 – sample with acoustic separation of layers and fragmented shotcrete claddings (joint implementation of "Method-1" and "Method-2"), total sample thickness $h_{en}=106$ mm

патент [16]. На рис. 3 показаны схемы конструктивного решения данного типа ограждения.

Экспериментальные исследования звукоизоляции бескаркасных сэндвич-панелей с торкрет-облицовками проведены в средних реверберационных камерах Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. Результаты, представленные на рис. 4, показывают, что применение разработанных способов повышения звукоизоляции легких перегородок с торкрет-облицовками эффективно во всем нормируемом диапазоне частот:

1) реализация «Способа-1» «Акустическое разобщение торкрет-облицовок и среднего слоя» позволила сместить резонансный провал системы «масса–упругость–масса» из диапазона средних частот ($f_{msm1} = 315$ Гц) в диапазон низких частот ($f_{msm2} = 80$ Гц) и вывести его за нижний предел нормируемого диапазона частот (100 Гц). При этом звукоизоляция образца (кривая 2, рис. 4) повысилась по сравнению с исходным образцом (кривая 1) на величины от 4 до 21 дБ в широком диапазоне частот от 125 до 2000 Гц.

Индекс изоляции воздушного шума ограждения повысился на: $\Delta R_w = R_{w2} - R_{w1} = 47 \text{ дБ} - 36 \text{ дБ} = 11 \text{ дБ}$;

2) реализация «Способа-2» «Фрагментирование торкрет-облицовок» позволила сместить резонансный провал вблизи граничной частоты области ППР и вывести его за верхний предел нормируемого диапазона частот (3150 Гц): $f_{bmn1,2}=2000 \text{ Гц} \rightarrow f_{bmn3}=5000 \text{ Гц}$. При этом звукоизоляция образца (кривая 3, рис. 4) повысилась по сравнению с предыдущим образцом (кривая 2) на величины от 5 до 19 дБ в широком диапазоне частот от 1250 до 8000 Гц. Индекс изоляции воздушного шума ограждения повысился на: $\Delta R_w = R_{w3} - R_{w2} = 51 \text{ дБ} - 47 \text{ дБ} = 4 \text{ дБ}$;

3) совместная реализация «Способа-1» и «Способа-2» позволила повысить индекс изоляции воздушного шума образца легкой перегородки на значительную величину: $\Delta R_w = R_{w3} - R_{w1} = 51 \text{ дБ} - 36 \text{ дБ} = 15 \text{ дБ}$;

4) с учетом членов спектральной адаптации величины индексов изоляции воздушного шума для исследованных образцов ограждений составляют:

– для образца легкой бескаркасной перегородки с торкрет-облицовками, с акустическим разобщением слоев: $R_{w2} = 47 (-2; -6) \text{ дБ}$;

– для образца легкой бескаркасной перегородки с акустическим разобщением слоев и фрагментированными торкрет-облицовками: $R_{w3} = 51 (-2; -8) \text{ дБ}$.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать вывод об эффективности разработанных способов повышения звукоизоляции легких перегородок с торкрет-облицовками. Совместное применение двух способов позволяет смещать наиболее крупные резонансные провалы за нижний и верхний пределы нормируемого диапазона частот. При этом звукоизоляция повышается в широком диапазоне средних и высоких частот без увеличения массы и при незначительном увеличении толщины ограждения (на 4–8%). Это позволяет рекомендовать разработанные новые типы легких ограждений в качестве перегородок между помещениями в жилых и общественных зданиях, например: между комнатами в жилых зданиях ($R_{w\text{треб}} \geq 43 \text{ дБ}$); между санузлом и комнатой одной квартиры ($R_{w\text{треб}} \geq 47 \text{ дБ}$); между кабинетами в административных и офисных зданиях ($R_{w\text{треб}} \geq 45 \text{ дБ}$).

Список литературы

1. Ильин Д.С. Шумовое загрязнение урбанизированной среды. *Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: Сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка*. Пермь, 2021. С. 214–215.
2. Саврасова Н.А., Агапов А.Д., Саврасова Е.Е. Проблема увеличения шумового загрязнения окружающей среды. *Сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса*. Петрозаводск, 2020. С. 259–268.
3. Шубин И.Л., Аистов В.А., Пороженко М.А. Звукоизоляция ограждающих конструкций в многоэтажных зданиях. Требования и методы обеспечения // *Строительные материалы*. 2019. № 3. С. 33–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-33-43>
4. Гуреев К.А., Тряustin Д.В. Исследования акустических свойств материалов для дополнительной звукоизоляции в многоквартирных жилых домах в условиях применения различных строительных конструкций // *Noise Theory and Practice*. 2022. Т. 8. № 4. С. 49–58.
5. Кузьмин Д.С., Монич Д.В., Гребнев П.А., Градова О.В. Экспериментальные исследования звукоизоляции сэндвич-панелей с торкрет-облицовками // *Жилищное строительство*. 2022. № 7.

References

1. Il'in D.S. Noise pollution of the urbanized environment. *Environmental safety in the conditions of anthropogenic transformation of the natural environment: Collection of materials of the all-Russian school-seminar dedicated to the memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark*. Permian. 2021, pp. 214–215. (In Russian).
2. Savrasova N.A., Agapov A.D., Savrasova E.E. The problem of increasing noise pollution of the environment. *Collection of articles of the III International Research Competition*. Petrozavodsk. 2020, pp. 259–268. (In Russian).
3. Shubin I.L., Aistov V.A., Porozhenko M.A. Sound insulation of enclosing structures in multi-storey buildings. Requirements and methods of support. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 3, pp. 33–43. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-33-43>
4. Gureev K.A., Tryastin D.V. Studies of the acoustic properties of materials for additional sound insulation in multi-apartment residential buildings in the conditions of the use of various building structures. *Noise Theory and Practice*. 2022. Vol. 8, No. 4, pp. 49–58. (In Russian).
5. Kuzmin D.S., Monich D.V., P Grebnev.A., Gradova O.V. Experimental studies of sound insulation of sandwich panels with shotcreted claddings. *Zhilyshchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2022. No. 7, pp. 18–23. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-7-18-23>

- С. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-7-18-23>
6. Седов М.С. Звукоизоляция. В кн.: Техническая акустика транспортных машин: Справочник / Под ред. Н.И. Иванова. СПб.: Политехника, 1992. С. 68–105.
 7. Sedov M.S. Analysis and calculation of noise insulation by light enclosures. *Proceedings of International Noise and Vibration Control Conference «Noise-93»*. Edited by M.J. Crocker and N.I. Ivanov. 1993. Vol. 3. St. Petersburg. P. 111–116.
 8. Гребнев П.А., Монич Д.В. Исследование звукоизолирующих свойств бескаркасных ограждающих конструкций из сэндвич-панелей // *Приволжский научный журнал*. 2014. № 3. С. 53–58.
 9. Cremer L., Eisenberg A. Verbesserung der Schalldämmung dünner Wände durch Verringerung ihrer Biegesteifigkeit. *Bauplanung und Bautechnik*. 1948. Bd. 2. № 8, pp. 235–238.
 10. Ильяшук Ю.М. Влияние жесткости ограждающих конструкций на их звукоизоляцию. *Труды I науч. конференции «Борьба с шумом и действия шума на организм»*. Вып. 2. Ленингр. ВЦНИИОТ. Л., 1958. С. 56–76.
 11. Бобылев В.Н., Седов М.С. О влиянии изгибной жесткости ограждений на их звукоизоляцию в области частот ниже граничной. *Тезисы докладов VIII Всесоюзной акустической конференции*. М., 1973. С. 45–49.
 12. Бобылев В.Н., Тишков В.А., Монич Д.В., Гребнев П.А. Резервы повышения звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций. Н. Новгород: ННГАСУ, 2014. 118 с.
 13. Кочкин А.А., Шашкова Л.Э., Кочкин Н.А., Иванова А.В. Способы повышения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий // *Приволжский научный журнал*. 2022. № 1. С. 41–51.
 14. Кочкин А.А., Шашкова Л.Э. Повышение звукоизоляции слоистых вибродемпфированных ограждений путем уменьшения их изгибной жесткости // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2011. № 5–2. С. 159–162.
 15. Патент на полезную модель RU № 214565. *Звукоизолирующее ограждение*. Кузьмин Д.С., Бобылев В.Н., Ерофеев В.И., Павлов И.С., Гребнев П.А., Монич Д.В., Гагулаев А.В., Ефимов А.П., Полещиков С.Н. Приоритет от 22.09.2022.
 16. Патент на полезную модель RU № 217696. *Звукоизолирующее ограждение с облицовками из метаматериала*. Кузьмин Д.С., Монич Д.В., Бобылев В.Н., Гребнев П.А., Ерофеев В.И., Павлов И.С. Приоритет от 21.02.2023.
 6. Sedov M.S. *Zvukoizolyatsiya*. V kn.: *Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin: spravochnik* [Soundproofing. In the book: Technical acoustics of transport vehicles: a reference book]. Edited by N.I. Ivanov. Saint Petersburg: Polytekhnika. 1992, pp. 68–105.
 7. Sedov M.S. Analysis and calculation of noise insulation by light enclosures. *Proceedings of International Noise and Vibration Control Conference «Noise-93»*. Edited by M.J. Crocker and N.I. Ivanov. 1993. Vol. 3. St. Petersburg, pp. 111–116.
 8. Grebnev P.A., Monich D.V. Study of the soundproofing properties of frameless enclosing structures made of sandwich panels. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2014. No. 3, pp. 53–58. (In Russian).
 9. Cremer L., Eisenberg A. Verbesserung der Schalldämmung dünner Wände durch Verringerung ihrer Biegesteifigkeit. *Bauplanung und Bautechnik*. Bd. 2. No. 8. 1948, pp. 235–238.
 10. Ilyashuk Yu.M. Influence of rigidity of enclosing structures on their sound insulation. *Proceedings of I scientific conference «Combating noise and the effects of noise on the body»*, Vol. 2. Leningrad: VTsNIIOТ. 1958, pp. 56–76. (In Russian).
 11. Bobylev V.N., Sedov M.S. On the influence of the flexural stiffness of fences on their sound insulation in the frequency range below the boundary. *Abstracts of the VIII All-Union Acoustic Conference*. Moscow. 1973, pp. 45–49. (In Russian).
 12. Bobylev V.N., Tishkov V.A., Monich D.V., Grebnev P.A. *Rezervy povysheniya zvukoizolyatsii odnosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktsii* [Reserves for increasing the sound insulation of single-layer building envelopes]. Nizhny Novgorod: NNGASU. 2014. 118 p.
 13. Kochkin A.A., Shashkova L.E., Kochkin N.A., Ivanova A.V. Ways to improve sound insulation of enclosing structures of buildings. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2022. No. 1, pp. 41–51. (In Russian).
 14. Kochkin A.A., Shashkova L.E. Improving the sound insulation of layered vibration-damped fences by reducing their bending stiffness. *Izvestiya of the Southwestern State University*. 2011. No. 5–2, pp. 159–162. (In Russian).
 15. Patent na poleznuyu model' RF 214565. *Zvukoizoliruyushchee ograzhdenie* [Soundproof enclosure]. Kuzmin D.S., Bobylev V.N., Erofeev V.I., Pavlov I.S., Grebnev P.A., Monich D.V., Gagulaev A.V., Efimov A.P., Poleshchikov S.N. Priority from 22.09.2022. (In Russian).
 16. Patent na poleznuyu model' RF 217696. *Zvukoizoliruyushchee ograzhdenie s ob-litsovkami iz metamateriala* [Soundproof enclosure with metamaterial claddings]. Kuzmin D.S., Monich D.V., Bobylev V.N., Grebnev P.A., Erofeev V.I., Pavlov I.S. Utility model patent RU No. 217696. Priority from 21.02.2023. (In Russian).

УДК 534.84

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-17-20>

Х.А. ЩИРЖЕЦКИЙ, канд. техн. наук (a021069@yandex.ru),
В.Н. СУХОВ, канд. техн. наук (svn36@mail.ru)

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Расчет звукопоглощения при проектировании шумозащиты помещений с повышенным шумовым фоном и распределенными источниками шума

Произведен анализ акустических условий в специфических помещениях активного человеческого общения с повышенными уровнями шумового фона, в том числе в залах ожидания транспортных средств, коридорах и других местах общих контактов в учебных заведениях, офисах открытого плана и т. п. Разработан метод совмещения требований по допустимым уровням шума с оптимальными значениями времени реверберации для таких объектов. Метод включает совместные расчеты требуемой звукопоглощающей отделки для достижения нормативных значений уровней звукового давления реверберационно-шумового фона при распределенных источниках речевых сигналов по всей площади помещения. Методика также позволяет произвести расчет требуемого коэффициента звукопоглощения акустической отделки помещения в нормируемом диапазоне средних частот при условии определения площади возможного размещения звукопоглощающей отделки в интерьере помещения. Важным преимуществом разработанной методики по совмещению нормативных требований по уровням шума и времени реверберации в помещениях «живого человеческого общения» является то обстоятельство, что все последовательные расчетные операции проводятся в достаточно простой аналитической форме, это позволяет использовать ее для широкого круга архитекторов и инженеров-акустиков, не обладающих специальным программным обеспечением.

Ключевые слова: уровни шума, звукопоглощение, источники речевых сигналов, помещения активного человеческого общения, время реверберации, площадь звукопоглощающей отделки.

Для цитирования: Щиржецкий Х.А., Сухов В.Н. Расчет звукопоглощения при проектировании шумозащиты помещений с повышенным шумовым фоном и распределенными источниками шума // *Жилищное строительство*. 2023. № 7. С. 17–20. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-17-20>

Kh.A. SHCHIRZHETSKIY, Candidate of Sciences (Engineering) (a021069@yandex.ru), V.N. SOUKHOV, Candidate of Sciences (Engineering) (svn36@mail.ru)
Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Calculation of Sound Absorption in the Design of Noise Protection of Rooms with High Background Noise and Distributed Noise Sources

The analysis of acoustic conditions in specific rooms of active human communication with elevated levels of background noise, including in waiting rooms of vehicles, corridors and other places of common contacts in educational institutions, open-plan offices, etc. was carried out. A method was developed for combining the requirements for permissible noise levels with optimal reverberation time values for such objects. The method includes joint calculations of the required sound-absorbing finish to achieve the normative values of the sound pressure levels of the reverberation-noise background with distributed sources of speech signals over the entire area of the room. The technique also makes it possible to calculate the required sound absorption coefficient of the acoustic finishing of the room in the normal range of medium frequencies, provided that the area of possible placement of the sound-absorbing finishing in the interior of the room is determined. An important advantage of the developed methodology for combining regulatory requirements for noise levels and reverberation time in the premises of "live human communication" is the fact that all sequential calculation operations are carried out here in a fairly simple analytical form, which allows it to be used for a wide range of architects and acoustic engineers who do not have special software.

Keywords: noise levels, sound absorption, sources of speech signals, places of active human communication, reverberation time, sound-absorbing finish area.

For citation: Shchirzhetskiy Kh.A., Soukhov V.N. Calculation of sound absorption in the design of noise protection of rooms with high background noise and distributed noise sources. *Zhiliishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 7, pp. 17–20. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-17-20>

В практике строительного комплекса России известен обширный кластер помещений, одной из основных проблем обеспечения акустического комфорта в которых является постоянно действующий шумовой фон, вызванный широким кругом человеческого общения по всей площади помещения, в том числе при

различном работающем техническом оборудовании. Данная проблема особенно наглядна в больших помещениях простых геометрических форм, не имеющих специальной акустической отделки и при отсутствии жестких требований по ограничению громкости речевых контактов. Такими помещениями, в частно-

сти, являются: пространства для общения людей со сходными интересами (коворкинг), залы ожидания крупных транспортных средств, большие операторские залы, рекреационные помещения учебных заведений, спортивно-тренировочные залы и т. п.

Общий шумовой фон таких помещений, хотя и несколько условно, можно разделить на две составляющие:

– так называемый стационарный шумовой фон, вызванный постоянно работающими в помещении инженерными системами и создаваемый повышенной гулкостью (реверберацией) помещений, не имеющих достаточно эффективной звукопоглощающей отделки;

– так называемый нестационарный шумовой фон, создаваемый, как уже упоминалось, повышенными уровнями распределенных по всей площади помещения речевых контактов.

Именно последний тип шумовой нагрузки зачастую приводит к наиболее тяжелым физиологическим воздействиям в виде постоянного переутомления слухового аппарата. Так, например, преподаватели физкультуры после полного рабочего дня в школьных спортзалах часто находятся в состоянии психоэмоционального и физического истощения, что в итоге отрицательно сказывается на их здоровье.

Кроме того, сложность решения поставленной задачи усугубляется тем, что в СП 51.13330.2011 «Защита от шума» нормирование требований по акустическим мероприятиям в помещениях подобного типа представлено, как принято, раздельно по нормированию шумов инженерного оборудования и по оптимальным значениям времени реверберации. Анализ поставленной задачи показывает, что логически понятной и физически корректной является такая последовательность расчетных операций:

1. В соответствии с рекомендациями разделов 6, 8 и 9 СП 51.13330.2011 «Защита от шума» для проектируемого помещения определяется требуемая звукоизоляция ограждениями и необходимое снижение шума от инженерного оборудования. Согласование с авторами проекта строительно-акустической «коробки» будущего помещения позволяет разработать основную архитектурную концепцию и предполагаемую отделку интерьера создаваемого объекта.

2. На основании геометрических параметров и информации обо всех составляющих общего фонда звукопоглощения проектируемого помещения (A_0) следует определить среднюю плотность звуковой энергии (ε_0) внутри объема рассматриваемого объекта по известной формуле статистической теории [1–6]:

$$\varepsilon = \frac{4P_A}{cA_0}, \quad (1)$$

где P_A – общая акустическая мощность источников звука в помещении; c – скорость звука.

Здесь необходимо отметить, что идеализация звуковых потоков по однородности и изотропности, принятая при выводе формулы (1), во всей известной библиографии по теории реверберации [7–12], естественно, не находит полного подтверждения в исследуемых помещениях. Однако можно считать это выражение достаточно точным при условии случайного распределения большого количества источников звука по площади помещения и относительно равномерного распределения звукопоглощения по конструкциям ограждений, даже при условии приближения общего контура помещения к простым геометрическим формам, например прямоугольного параллелепипеда. Принятое допущение позволяет определять звуковые поля в таких помещениях, как «псевдо- или квазидиффузные» [5], и использовать для аналитических расчетов формулу (1) или, как более соответствующее реальной картине распределенных звуковых потоков источников звука, по их интенсивности J_0 :

$$J_0 = \varepsilon_0 c = \frac{4P_A}{A_0}. \quad (2)$$

3. Принятая модель звукового поля позволяет провести два независимых расчета требуемого общего фонда звукопоглощения проектируемого помещения: 1) по общей шумовой нагрузке помещения с целью приближения ее к нормативным значениям; 2) по времени реверберации с целью достижения его оптимальных значений.

В отношении первого представляется правильным считать, что все необходимые мероприятия по защите от шума инженерного оборудования и звукоизоляции выполнены полностью и, по данным соответствующих расчетов, проведенных в пустом помещении, уровни шума от этих источников не должны превышать допустимых значений. Однако реальный шумовой фон вследствие отсутствия в начале проектирования специальной акустической отделки ограждений помещений исследуемого типа практически всегда превышает при массовом людском общении установленные нормы. Решением здесь может быть только введение дополнительной звукопоглощающей отделки в интерьер помещения.

Для этой цели необходимо прежде всего определить реальные уровни звукового поля в режиме практической эксплуатации шумных помещений, т. е. живого человеческого общения. Учитывая отсутствие точной статистики заполнения людьми объектов подобного типа, количество их можно считать по площади пола, как это делается при проектировании культовых сооружений, причем, исходя из условий «нормального» человеческого общения, следует принять приблизительно $1 \text{ м}^2/\text{чел.}$ Таким образом, среднее количество людей в проектируемом объекте будет равно $\bar{n} = S/1 \text{ м}^2 = [S]$, где S – площадь пола, а формулу (2) можно преобразовать к виду:

$$J_0 = \frac{4\bar{n}P_{A1}}{A_0}, \quad (3)$$

где P_{A1} – акустическая мощность одного источника звука.

В отношении последнего представляется логичным, вследствие того что в шумных помещениях происходит некоторое форсирование личных речевых контактов, принять за среднюю величину P_{A1} , как принято в общефизических расчетах, половину пиковой мощности в диапазоне средних частот (т. е. по уровню ~3дБ), что составляет $\cong 1 \cdot 10^{-3}$ Вт [6, 13, 14].

Переходя от абсолютных величин J_0 к уровням звука, можно получить:

$$L_0 = 10 \lg \left\{ \frac{J_0}{J_{\text{пор}}} \right\} = 10 \lg \left\{ \frac{4\bar{n}P_{A1}}{A_0 J_{\text{пор}}} \right\}, \quad (4)$$

где $J_{\text{пор}} = 10^{-12}$ Вт/м² – пороговое значение интенсивности звука.

Раскрывая выражение (4) по цифровым значениям для средних уровней звука в помещении, получим:

$$L_0 = 10 \lg \bar{n} - 10 \lg A_0 + 96 \text{ дБ}. \quad (5)$$

Учитывая, что в акустически необработанных помещениях данного типа практически всегда $L_0 > L_{\text{норм}}$, где $L_{\text{норм}}$ – уровни допустимых нормативных значений, для оценки требуемой для приближения к нормам дополнительной звукопоглощающей отделки следует использовать следующее выражение:

$$\begin{aligned} \Delta L_{\text{норм}} &= L_0 - L_{\text{норм}}, \text{ откуда} \\ \Delta A_{\text{норм}} &= A_{\text{норм}} - A_0, \end{aligned} \quad (6)$$

где $A_{\text{норм}}$ – общий фонд эквивалентной площади звукопоглощения (ЭПЗ), обеспечивающий достижение уровней $L_{\text{норм}}$.

Для определения поправки $\Delta A_{\text{норм}}$ следует использовать выражение, аналогичное формуле (5), но для нормативных значений $L_{\text{норм}}$, соответствующих ЭПЗ ($A_{\text{норм}}$), которое путем обратных преобразований может быть приведено к виду:

$$10 \lg A_{\text{норм}} = 10 \lg \bar{n} - L_{\text{норм}} + 96 \text{ дБ}. \quad (7)$$

Далее с помощью процедуры антилогарифмирования можно получить саму величину $A_{\text{норм}}$:

$$A_{\text{норм}} = \bar{n} 10^{0,1(96\text{дБ}-L_{\text{норм}})} \quad (8)$$

и далее соответственно $\Delta A_{\text{норм}}$ по формуле (6).

Как вариант поправку $\Delta A_{\text{норм}}$ можно напрямую рассчитать по величине $\Delta L_{\text{норм}}$ путем сопоставления формул (5) и (7), что приводит к соотношению:

$$\Delta A_{\text{норм}} = 10 \lg A_{\text{норм}} - 10 \lg A_0$$

и далее с помощью простых выкладок к следующей формуле:

$$\Delta A_{\text{норм}} = A_0 \{ 10 \lg 10^{0,1\Delta L_{\text{норм}}} - 1 \} \quad (9)$$

при необходимом условии $\Delta L_{\text{норм}} > 0$.

4. Как уже упоминалось, помещения данного типа следует относить по виду основной информации к речевым, время реверберации которых (T_p) нормируется, в зависимости от объема, в СП 51.13330.2011 «Защита от шума» (разд. 13 «Акустика помещений»). По принятой модели звукового поля в таких помещениях достаточно корректным является использование известной формулы Сэбина [15]:

$$T_p = \frac{0,16V}{A_p}, \text{ откуда } A_p = \frac{0,16V}{T_p}, \quad (10)$$

где V – воздушный объем помещения; A_p – ЭПЗ ограждения, обеспечивающая достижение нормативных значений, времени реверберации.

Здесь также может быть определена требуемая величина добавочного фонда звукопоглощения:

$$\Delta A_p = A_p - A_0. \quad (11)$$

5. Проведенные расчеты позволяют путем сопоставления определить по большей из них величине оптимальное значение добавочного звукопоглощения, удовлетворяющее нормативным требованиям как по допустимым уровням шума, так и по времени реверберации в помещениях исследуемого типа.

Для расчета требуемого коэффициента звукопоглощения акустической облицовки необходимо прежде всего определить места и площади реального размещения добавочного звукопоглощения (S_a), так как в большинстве случаев такие помещения являются так называемыми рабочими (например, помещения коворкингов, залы ожидания, рекреации учебных заведений и т. п.) и в их ограждениях вследствие эргономики и сферы использования превалируют такие практически удобные для быстрой строительной реализации ограждения, как металлоконструкции, большие площади остекления и т. п.

Используя данную информацию, можно определить требуемый коэффициент звукопоглощения (КЗП) вносимой звукопоглощающей отделки ($\bar{\alpha}_{\text{норм}}$) с помощью следующего выражения:

$$\bar{\alpha}_{\text{норм}} = \frac{\Delta A_{\text{норм}}}{S_a}. \quad (12)$$

Выводы

1. В работе произведен анализ специфики шумового режима в помещениях, эксплуатация которых практически постоянно производится в условиях активного человеческого общения (например, залы ожидания транспортных средств, рекреации учебных заведений, спортивно-тренировочные залы и т. п.). Реальный шумовой фон в таких объектах, даже при правильно выбранных мероприятиях по защите от шума инженерного оборудования и создания звукоизолирующей «коробки» по ограждениям помещения, не может быть существенно понижен без введения дополнительной звукопоглощающей отделки интерьера. Кроме того, увеличению общей

шумовой нагрузки помещений данного типа зачастую способствует работа вспомогательного технического оборудования, как например: работа ленты транспортеров в залах ожидания аэропортов, технические приспособления в фитнес-центрах и т. п.

2. Для расчета требуемой в целях приближения внутреннего шумового фона указанных объектов к уровням допустимых значений звукопоглощающей отделки разработан аналитический метод совмещения норм по уровням шума и оптимальным значениям времени реверберации с различными вариантами акустических расчетов, приведенных на основе мо-

Список литературы

1. Фурдуев В.В. Акустические основы вещания. М.: Связьиздат, 1960. 326 с.
2. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. М.: Стройиздат, 1989. 187 с.
3. Kuttruff H. Nachhall und Effective absorption in Räumen mit diffusen wandreflexion // *Acustica*. 1976. No. 35, pp. 141–153.
4. Анерт В., Штеффен Ф. Техника звукоусиления. Теория и практика. М.: ПКФ «Леруша», 2003. 416 с.
5. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Шубин И.Л. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях. Москва; Берлин: Direct MEDIA, 2020.
6. Иофе В.К. Справочник по акустике. М.: Связь, 1979.
7. Щиржецкий Х.А., Сухов В.Н., Щиржецкий А.Х., Алёшкин В.М. К проблеме акустического проектирования современных залов многоцелевого назначения // *Жилищное строительство*. 2019. № 7. С. 16–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-16-24>
8. Щиржецкий Х.А., Борисов Л.А. Акустика зальных помещений // *Сцена*. 2002. № 21.
9. Щиржецкий Х.А., Борисов Л.А. Проблемы акустического проектирования современных многофункциональных залов. *Сборник трудов научно-технической конференции «Проблемы и пути развития энергосбережения и защиты от шума в строительстве»*. М., 2011.
10. Сергеев М.В., Косинова В.Е. Исследования применимости формулы Эйринга к описанию реверберации в несоразмерных помещениях. *Строительная акустика (акустическое благоустройство помещений, звукоизоляция, борьба с шумом): Труды НИИСФ*. М., 1983. С. 10–18.
11. Makrinenko L. Acoustics of auditoriums in public buildings. New York: American Institute of Physics, 1994.
12. Маньковский В.С. Акустика студий и залов для звуковоспроизведения. М.: Искусство, 1966.
13. Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: ГИТТЛ, 1953.
14. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1974. Раздел V.5.4.
15. Субботкин А.О., Щиржецкий Х.А., Алешкин В.М. Расчет снижения шума в помещениях за счет дополнительного фонда звукопоглощения. *XXXII сессия РАО*. Москва. 14–18 октября 2019 г.

дели квазидиффузного звукового поля. Кроме того, учитывая ограниченность мест и площадей размещения средств звукопоглощения в помещениях подобного типа, предложена формула по определению необходимого КЗП акустических материалов и конструкций в нормируемом диапазоне средних частот.

References

1. Furduev V.V. Akusticheskie osnovy veshchaniya [Acoustic basics of broadcast]. Moscow: Svyazizdat. 1960. 326 p.
2. Makrinenko L.I. Akustika pomeshchenii obshchestvennykh zdaniy [Acoustics of public buildings]. Moscow: Stroyizdat. 1989. 187 p.
3. Kuttruff H. Nachhall und Effective absorption in Räumen mit diffusen wandreflexion. *Acustica*. 1976. No. 35, pp. 141–153.
4. Anert V., Shteffen F. Tekhnika zvukousileniya. Teoriya i praktika [Sound amplification technique. Theory and practice] Moscow: PKF Lerusha. 2003. 416 p.
5. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Shubin I.L. Raschety shuma pri proektirovanii shumozashchity v proizvodstvennykh zdaniyakh [Noise calculations in the design of noise protection in industrial buildings]. Moscow – Berlin: Direct MEDIA, 2020.
6. Iofo V.K. Spravochnik po akustike [Handbook of acoustics]. Moscow: Svyaz, 1979.
7. Shchirzhetskii Kh.A., Soukhov V.N., Shchirzhetskii A.Kh., Aleshkin V.M. On the problem of acoustic design of modern multipurpose halls. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 7, pp. 16–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-16-24>
8. Shchirzhetsky H.A., Borisov L.A. Acoustics of hall rooms. *Stsena*. 2002. No. 21. (In Russian).
9. Shchirzhetsky H.A., Borisov L.A. Problems of acoustic design of modern multifunctional halls. *Proceedings of the scientific and technical conference "Problems and ways of development of energy saving and protection from noise in construction"*. Moscow, 2011. (In Russian).
10. Sergeev M.V., Kosinova V.E. Studies of the applicability of the Eyring formula to the description of reverberation in disproportionate rooms. *Construction acoustics (acoustic improvement of premises, sound insulation, noise control): proceedings of NIISF*. Moscow. 1983, pp. 10–18.
11. Makrinenko L. Acoustics of auditoriums in public buildings. New York: American Institute of Physics, 1994.
12. Mankovsky V.S. Akustika studii i zalov dlya zvukovosproizvedeniya [Acoustics of studios and halls for sound reproduction]. Moscow: Iskusstvo, 1966.
13. Harkevich A.A. Spektry i analiz [Spectra and analysis]. Moscow: GITTL, 1953.
14. Yavorsky B.M., Detlaf A.A. Spravochnik po fizike [Handbook of Physics]. Moscow: Nauka. 1974. Section V.5.4.
15. Subbotkin A.O., Shchirzhetsky H.A., Aleshkin V.M. Calculation of noise reduction in premises due to additional sound absorption fund. *XXXII session of the RAO*. Moscow. October 14–18, 2019. (In Russian).

УДК 624.014.2

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-21-27>

И.В. БЕССОНОВ¹, канд. тех. наук (bessonoviv@mail.ru),

О.В. ГРАДОВА¹, руководитель сектора «Акустические материалы и конструкции» (zpu2007@yandex.ru);

И.С. ГОВРЯКОВ^{1,2}, инженер, магистр (govr190@mail.ru),

Э.А. ГОРБУНОВА^{1,2}, инженер, магистр (eg15082000@mail.ru)

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш, 26)

Исследование влажностного режима наружных стен с применением легких стальных тонкостенных конструкций

Системы применения легких стальных тонкостенных конструкций существуют уже более 50 лет и служат в первую очередь для постройки каркасных зданий различного назначения в максимально сжатые сроки с минимальными затратами ресурсов. Однако за это время не было проведено достаточного количества научных исследований теплотехнических и акустических параметров таких конструкций. Целью настоящей работы является изучение теплотехнических свойств легких стальных тонкостенных конструкций. Представлены результаты расчета температурно-влажностного режима в годичном цикле эксплуатации с определением зоны конденсации наружных каркасно-обшивных стен из легких стальных тонкостенных конструкций с применением пароизоляционного слоя и без него. Проведено компьютерное моделирование для условий города Москвы распределения влажности в толще конструкции, влагонакопления за пять лет эксплуатации. Представлены термограммы эксплуатируемого объекта. Установлено, что без пароизоляционного слоя в каркасно-обшивной стене из легких стальных тонкостенных конструкций максимальное увлажнение в первый год (в период большего увлажнения) эксплуатации составляет 29 мас. % в теплоизоляционном слое. За второй год происходит увеличение максимальной влажности до 34 мас. %. В последующие годы (до пяти лет) максимальная влажность не превышает 34 мас. %. При устройстве пароизоляции, максимальная влажность в период большего увлажнения на второй год эксплуатации приблизительно соответствует значению эксплуатационной влажности для плит минераловатных из каменного волокна плотностью 80–125 кг/м³ $W_B = 5\%$ в соответствии со справочными данными СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» Приложение Т. Для первого года эксплуатации она составляет 5%, а для второго года 5,6%.

Ключевые слова: легкие стальные тонкостенные конструкции, каркасно-обшивные стены, зона конденсации, распределение температуры, тепловизионная съемка, влагонакопление.

Для цитирования: Бессонов И.В., Градова О.В., Говряков И.С., Горбунова Э.А. Исследование влажностного режима наружных стен с применением легких стальных тонкостенных конструкций // *Жилищное строительство*. 2023. № 7. С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-21-27>

I.V. BESSONOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (bessonoviv@mail.ru), O.V. GRADOVA¹, Head of Sector “Acoustic Materials and Constructions” (zpu2007@yandex.ru); I.S. GOVRYAKOV^{1,2}, Engineer, Magister (govr190@mail.ru), E.A. GORBUNOVA^{1,2}, Engineer, Magister (eg15082000@mail.ru)

¹ Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

² National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

Research of the Humidity Conditions of External Walls Using Light Steel Thin-Walled Structures

Systems of application of light steel thin-walled structures have existed for more than half a century and serve primarily for the construction of frame buildings of various purposes in the shortest possible time with minimal resources. However, during this time, there have not been enough research carried out on the insulation and acoustic parameters of such structures. The objective of this research is to investigate the heat-protection properties of thin-walled, light steel structures. The article presents the results of calculation of the temperature-humidity regime in a year-long cycle of operation with determination of condensation zone of frame-sheathing walls from light steel thin-walled constructions with and without the use of vapor insulation layer. Computer modeling for the conditions of the city of Moscow of moisture distribution in the thickness of the structure, moisture accumulation over five years of operation was carried out. Thermograms of the operated object are presented. It has been established that without a vapor barrier layer in a frame-sheathing wall made of light steel thin-walled structures, the maximum moisture in the first year (during the period of greater moisture) of operation is 29 wt. % in the heat-insulating layer. In the second year there is an increase in the maximum humidity to 34% of the mass. In the following years (up to 5 years) the maximum humidity does not exceed 34% of mass. With the use of steam insulation, the maximum humidity during the second year of operation is approximately equal to the operational humidity for the “stone fiber plate” with a density range from 80 to 125 kg/m³, $W_B = 5\%$; according to reference data SP 50.13330.2012 “Thermal protection of buildings” Annex T. The first year of operation 5%, the second year 5.6%.

Keywords: lightweight steel-framed structures, frame-sheathing walls, condensation zone, temperature distribution, thermal imagery, moisture accumulation.

For citation: Bessonov I.V., Gradova O.V., Govryakov I.S., Gorbunova E.A. Research of the humidity conditions of external walls using light steel thin-walled structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 7, pp. 21–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-21-27>

Технология легких стальных тонкостенных конструкций (далее – ЛСТК) разрабатывалась в Канаде в 1950-х гг. для массового возведения небольших частных домов (European Light Steel Construction Association, Institute for dry and light buildings. European Lightweight Steel-framed Construction. LSK aisbl, Arcelor, 2005. ISBN 2952331820, p. 88). Первый опыт отечественного применения технологии ЛСТК относится к 1960–1970-м гг. и заключается в применении систем ЛСТК для сооружения каркасов промышленных зданий. Опыт работ по этим системам был практически утрачен в кризисные годы после распада СССР. При строительстве домов с большой этажностью возможно использование ЛСТК в качестве ограждающих конструкций. В этом случае несущие функции выполняет железобетонный монолитный каркас либо металлический каркас из сварных профилей. Основой строительства по технологии ЛСТК является принцип каркасно-обшивной конструкции [1–3]:

– каркасно-обшивные стены (далее, КОС) делятся на несущие, ненесущие и самонесущие;

– каркасно-обшивные перекрытия (далее, КОП).

Конструкция КОС, согласно ГОСТ Р 58774–2019 «Стены наружные каркасно-обшивные самонесущие и ненесущие с каркасом из стальных холоднугнутых оцинкованных профилей. Общие технические условия», представляет собой многослойную ограждающую конструкцию, которая состоит из металлического каркаса, тепло-, звукоизоляционного слоя, заполняющего полость каркаса, пароизоляции, ветрозащиты, наружной и внутренней обшивки, наружной облицовки, крепежных элементов.

В России наблюдается устойчивый рост строительства быстровозводимых и энергоэффективных зданий с помощью технологии ЛСТК, но у проектировщиков возникают вопросы по расчетным теплофизическим и акустическим значениям, а у жильцов – о комфортности проживания в зданиях из-за отсутствия достаточного количества исследований по теплозащитным и акустическим свойствам.

В исследованиях [4–5] авторы моделировали наружные стены четырех типов в условиях Крайнего Севера. Наиболее оптимальным вариантом является использование дополнительного слоя теплоизоляции с наружной стороны. Данное решение позволяет снизить влияние мостиков холода и повысить теплозащитные свойства ограждающей конструкции. В работах [6–8] отмечено, что для здания наиболее уязвимым местом с точки зрения теплозащиты является примыкание наружных стеновых ограждений к цокольному перекрытию. Для ЛСТК требуется дополнительное утепление этого примыкания, а также использование термовкладышей. В статьях [9–11] представлены результаты исследования перфорации на теплотехни-

ческие свойства «термопрофиля». Отмечено, что на теплотехнические свойства влияет большое количество «отверстий», расположенных на одной линии; длина «отверстий»; расположение «отверстий» относительно оси симметрии. В работах [12–14] оценивалась теплоустойчивость каркасных зданий из легких стальных тонкостенных конструкций. Амплитуда колебаний температуры составила 5,97°C, и авторы приходят к выводу о доработке конструктивных решений.

Отсутствуют исследования о влажностном режиме и влагонакоплении за период эксплуатации зданий, построенных по технологии ЛСТК.

В лаборатории «Стройфизика-тест» НИИСФ РААСН проведен ряд расчетов температурно-влажностного режима КОС для г. Москвы с применением пароизоляции и без нее. Расчеты проводились по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», по методике К.Ф. Фокина («Строительная теплотехника ограждающих частей зданий», 5-е изд.). Так же были проведены расчеты по определению влагонакопления за пять лет эксплуатации КОС для г. Москвы в программе «WET1D расчет нестационарных температурных и влажностных полей». Проведена тепловизионная съемка административно-бытового комплекса, построенного по технологии ЛСТК.

Целью исследований является изучение теплотехнических свойств легких стальных тонкостенных конструкций, оценка возможного влагонакопления без пароизоляции и с применением пароизоляционного слоя. Исследования проводятся в рамках прикладного научного исследования по теме «Исследование теплозащитных и звукоизоляционных свойств каркасно-обшивных стен, перекрытий и перегородок из легких стальных тонкостенных конструкций».

Методы и материалы

Рассмотренная конструкция КОС состоит из (перечисление слоев ограждающей конструкции начинается с внутренней зоны): два слоя ГКЛ толщиной 12,5 мм; слой пароизоляции; «термопрофиль» 150 мм; утеплитель 150 мм «Кнауф Инсулейшн»; наружная плита «АКВАПАНЕЛЬ», декоративная облицовка. Расчетные теплотехнические показатели материалов взяты в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», Приложение Т и представлены в табл. 1. В расчете на определение зоны конденсации и влагонакопления влияние «термопрофиля» не учитывалось.

Разрез стены с пароизоляцией и без представлен на рис. 1. Нумерация слоев соответствует нумерации в табл. 1.

В расчете принималось, что температура и влажность в помещении остаются постоянными в течение года: $t_{int}=20^{\circ}\text{C}$ (температура внутреннего воздуха);

Таблица 1
Table 1

Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов
Heat-engineering parameters of construction materials

№ п/п	Материал	δ , м	ρ , кг/м ³	λ_6 , Вт/(м·°С)	μ , мг/(м·ч·Па)
1	ГКЛ	0,0125	800	0,21	0,075
2	Пароизоляция (полиэтиленовая пленка)	0,00016	—	—	0,000022
3	«Кнауф Инсулейшн»	0,15	100	0,045	0,32
4	«АКВАПАНЕЛЬ»	0,0125	1150	0,36	0,036
5	Финишный слой (раствор цементно-песчаный)	0,015	1800	0,93	0,09

Таблица 2
Table 2

Среднемесячные значения температуры наружного воздуха и относительной влажности для г. Москвы
Average monthly values of outdoor air temperature and relative humidity for Moscow

Месяц	t_{ext} , °С	Φ_{ext} , %
Январь	-7,8	84
Февраль	-6,9	81
Март	-1,3	78
Апрель	6,5	66
Май	13,3	58
Июнь	17	59
Июль	19,1	63
Август	17,1	68
Сентябрь	11,3	73
Октябрь	5,2	78
Ноябрь	-0,8	82
Декабрь	-5,2	85

$\Phi_{int}=55\%$ (влажность в помещении) согласно ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Значения температуры наружного воздуха для г. Москвы были взяты в соответствии с СП 131.13330.2020 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* «Строительная климатология». Ввиду отсутствия данных по среднемесячной относительной влажности наружного воздуха в СП 131.13330.2020 эта характеристика принята в соответствии со справочными данными СНиП II–А.6–72 «Строительная климатология и геофизика». Данные по среднемесячной температуре (t_{ext}) и относительной влажности наружного воздуха (Φ_{ext}) для г. Москвы представлены в табл. 2.

Распределение температуры по слоям каркасно-обшивной конструкции рассчитывалось по формуле из книги К.Ф. Фокина «Строительная теплотехника ограждающих частей зданий»:

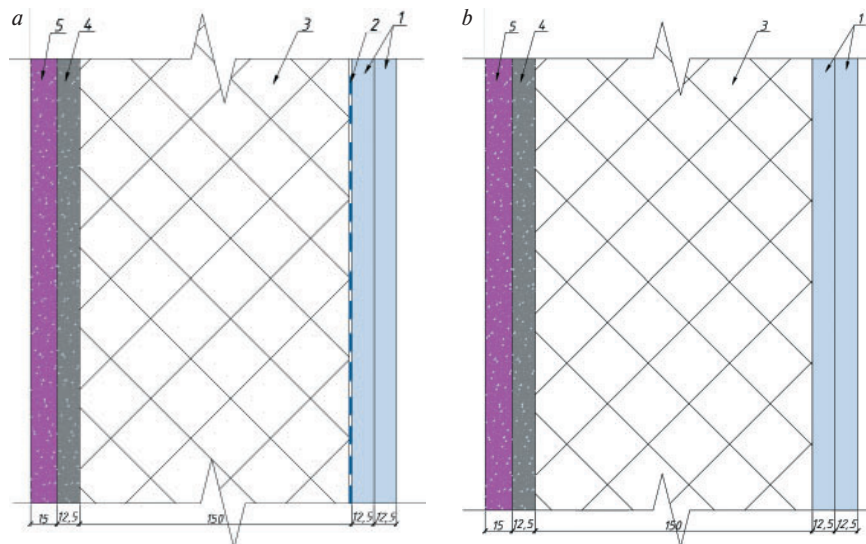


Рис. 1. Разрез каркасно-обшивной стены: а – с пароизоляцией; б – без пароизоляции; 1–5 – в соответствии с табл. 1

Fig 1. Section of a framed sheathing wall: a – with vapor; b – without vapor; 1–5 – in accordance with the table. 1

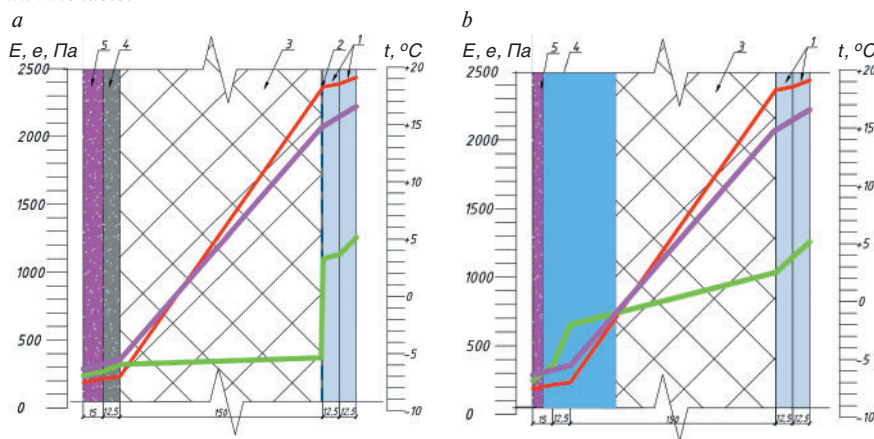


Рис. 2. Распределение насыщенного и действительного парциального давления водяного пара в толще каркасно-обшивной стены: а – с пароизоляцией; б – без пароизоляции; 1–5 – в соответствии с табл. 1

Fig 2. Distribution of saturated and real partial pressure of water vapor in the thickness of the framed sheathing wall: a – with vapor; b – without vapor; 1–5 – in accordance with the table. 1

$$\tau_n = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_o} \cdot (R_{si} + \sum_{n-1} R), \quad (1)$$

где t_{int} – температура внутреннего воздуха, °С; t_{ext} – температура наружного воздуха, °С; R_o – условное сопротивление теплопередаче, м²·°С/Вт; $R_{si}=1/a_{int}$; a_{int} – коэффициент теплообмена внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°С), принимаемый для стен равным 8,7 ($R_{si}=0,115$);

$\sum_{n-1} R$ – сумма термических сопротивлений $n-1$ слоев ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$.

Действительное парциальное давление e_i на границе слоев также рассчитывалось по формуле из книги К.Ф. Фокина «Строительная теплотехника ограждающих частей зданий»:

$$e_i = e_{int} - (e_{int} - e_{ext}) \cdot \frac{\sum R}{R_{vp}}, \quad (2)$$

где e_{int} – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха; e_{ext} – парциальное давление водяного пара внешнего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха; $\sum R$ – сумма сопротивлений паропроницанию слоев, считая от внутренней поверхности, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$; R_{vp} – сопротивление паропроницанию конструкции $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Для расчета распределения влажности и влагонакопления используется программа «WET1D рас-

чет нестационарных температурных и влажностных полей». Программа рассчитывает фазовый состав влаги в материалах без учета эффекта выделения/поглощения теплоты фазовых превращений и влияния термовлажпроводности. Wet1D основан на конечно-разностном методе. Состав КОС был принят в соответствии с табл. 1.

Тепловизионная съемка проводилась согласно ГОСТ Р 54852–2021 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций» до восхода солнца. Обследуемые поверхности не должны находиться в зоне прямого и отраженного солнечного облучения в течение 12 ч до проведения измерений. Перепад температуры между внутренним и наружным воздухом должен быть не менее 10–15°C. Перед началом проведения тепловизионного контроля фиксировалась температура внутреннего и наружного воздуха.

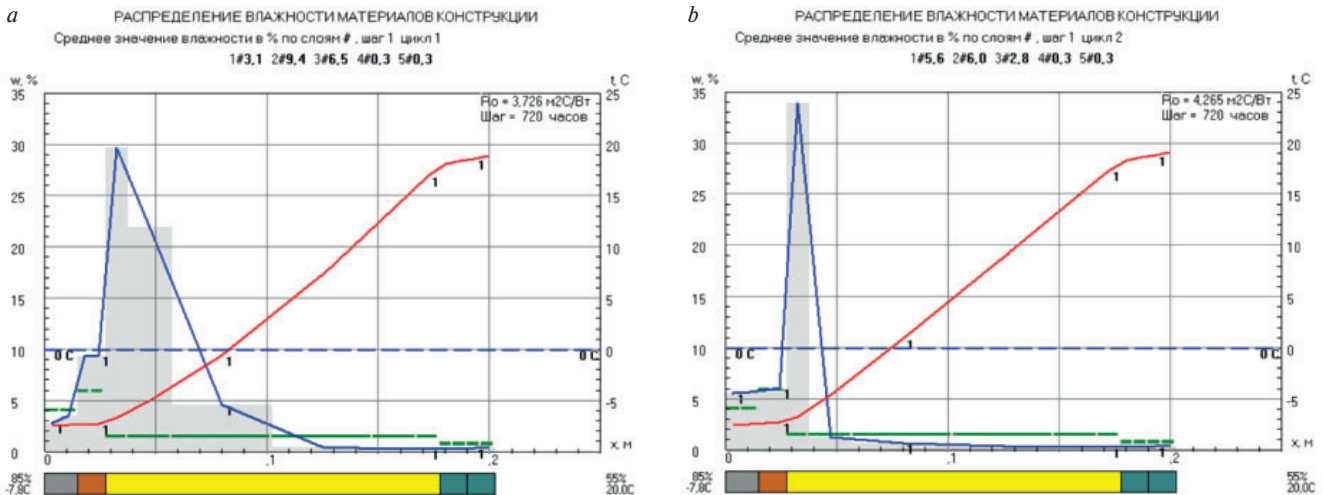


Рис. 3. Распределение влажности в каркасно-обшивной стене без пароизоляционного слоя: а – первый год эксплуатации; б – второй год эксплуатации

Fig 3. Moisture Distribution in framed sheathing wall without vapor insulating layer: a – first year of exploitation; b – second year of exploitation

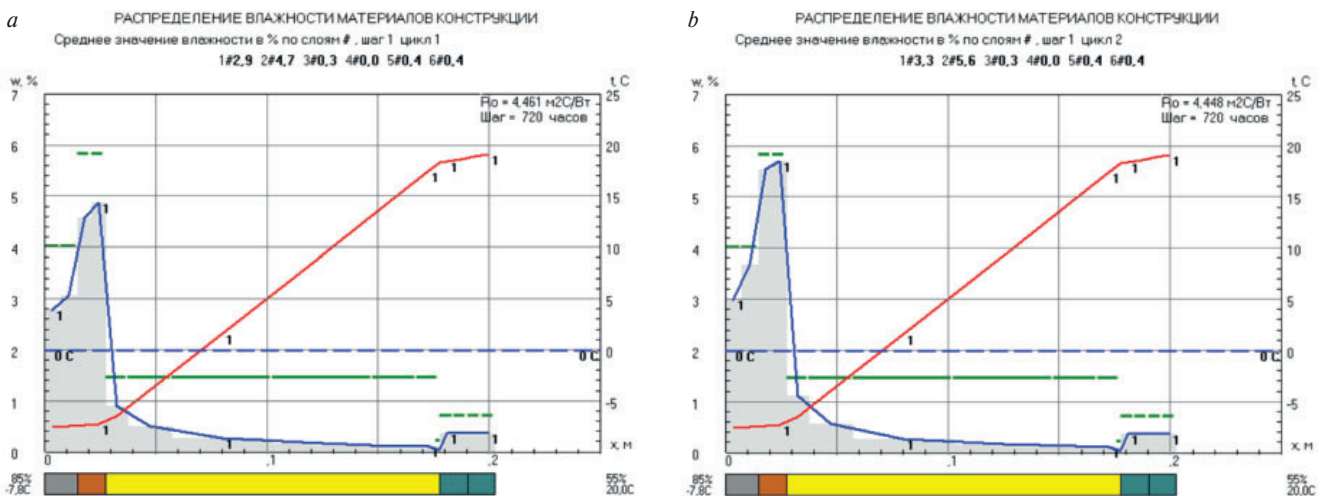


Рис. 4. Распределение влажности в каркасно-обшивной стене с пароизоляцией: а – первый год эксплуатации; б – второй год эксплуатации

Fig. 4. Moisture Distribution in framed sheathing wall with vapor insulation: a – first year of exploitation; b – second year of exploitation

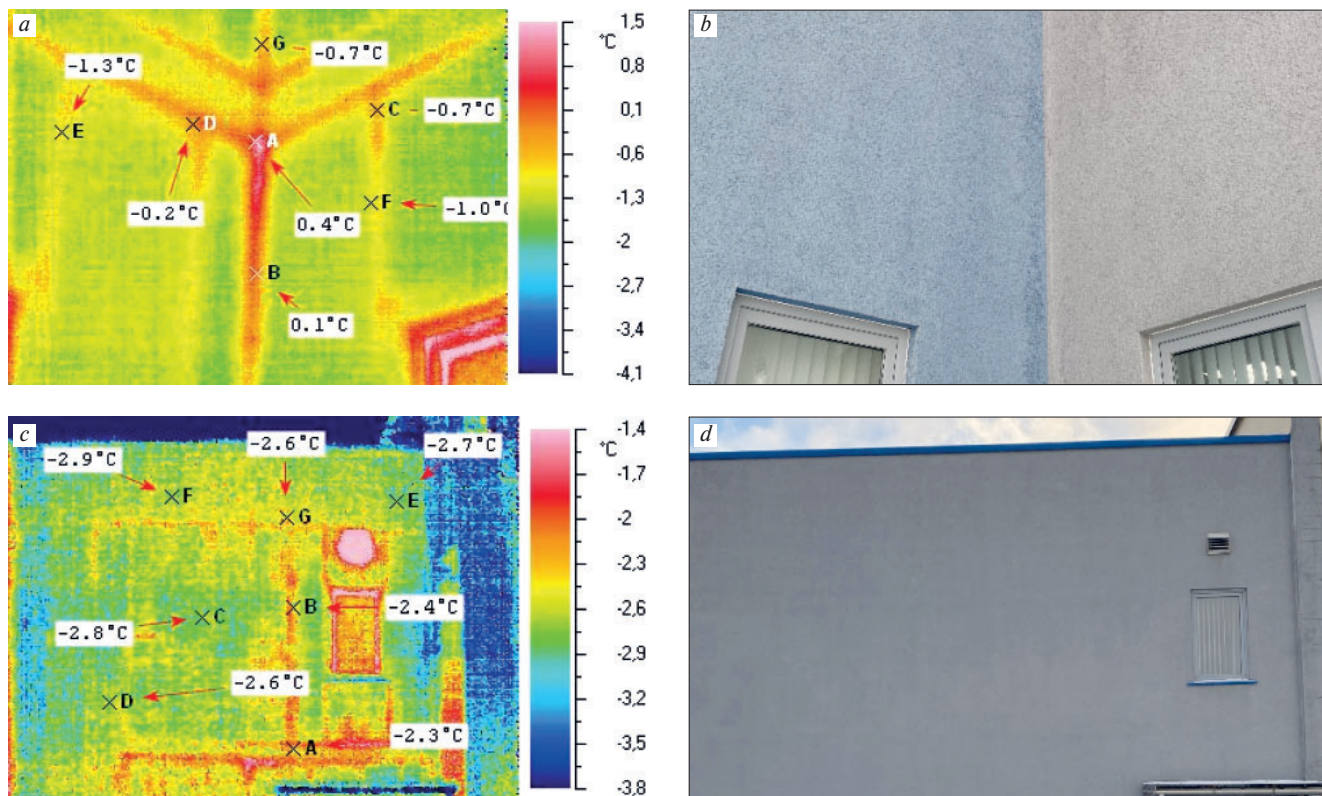


Рис. 5. Результаты тепловизионной съемки каркасно-обшивных стен из ЛСТК: *a* – термограмма угла наружной каркасно-обшивной стены; *b* – фотография угла наружной каркасно-обшивной стены; *c* – термограмма фасада каркасно-обшивной стены с оконным блоком и воздухопроводом; *d* – фотография фасада каркасно-обшивной стены с оконным блоком и воздухопроводом

Fig. 5. Thermal imaging results of framed sheathing wall (LSTC): *a* – thermogram of the angle of the outer framed sheathing wall; *b* – photo of the angle of the outer framed sheathing wall; *c* – thermogram of the facade of the framed sheathing wall with window block and air-duct; *d* – photo of the facade of the framed sheathing wall with window block and air-duct

Результаты исследований

На рис. 2 представлены графики распределения температуры (красная линия), действительного парциального давления водяного пара (зеленая линия), парциального давления насыщенного водяного пара (фиолетовая линия) для условий г. Москвы в январе. По результатам расчета определено, что при использовании пароизоляционного слоя (рис. 2, *a*) графики парциального давления насыщенного и действительного водяного пара не пересекаются, что указывает на отсутствие возможности образования конденсат. На рис. 2, *b* в расчете отсутствует пароизоляционный слой, графики парциального давления насыщенного и действительного водяного пара пересекаются в слое утеплителя, следовательно, это приводит к потере теплозащитных свойств КОС, а также может привести к коррозии стального профиля. Голубым цветом выделена зона конденсации.

Результаты расчета распределения влажности и влагонакопления в программе «WET1D расчет нестационарных температурных и влажностных полей» для КОС без пароизоляции представлены на рис. 3. В первый год (рис. 3, *a*) максимальная влажность (синий цвет) в зоне конденсации составила 29% (у наружной поверхности теплоизоляционного слоя),

что выше сорбционной влажности (зеленый цвет) в 15 раз. На второй год (рис. 3, *b*) эксплуатации зона конденсации сужается, но возрастает влажность до 34%. Распределение температуры в КОС на графике показано красным цветом.

На рис. 4 представлен расчет распределения влажности и влагонакопления для КОС с пароизоляционным слоем. В первый год эксплуатации (рис. 4, *a*) максимальная влажность составила около 5%. Распределение влажности по всей толще конструкции не превышало значения сорбционной влажности. На второй год (рис. 4, *b*) значение максимальной влажности выросло и составило 5,6%.

На рис. 5 представлены термограммы КОС. На момент съемки температура внутреннего воздуха $t_{int}=22^{\circ}\text{C}$, температура наружного воздуха $t_{ext}=-1^{\circ}\text{C}$, но из-за ветра ощущалась как -4°C . На термограммах отчетливо видны теплопроводные включения в виде стальных профилей и примыкания оконных блоков. Увлажненных зон не обнаружено.

Полученные результаты по расчету распределения парциального давления по толще стены и определению возможности образования зоны конденсации показывают, что применение пароизоляционного слоя оказывает значительное влияние на влажностный

режим каркасно-обшивной конструкции, а следовательно, и на комфортное пребывание внутри. В действительности график парциального давления – это кривая с небольшим выгибом вверх, из-за этого точка пересечения насыщенного и действительного парциального давления образуется раньше.

Расчет по влагонакоплению в программе «WET1D расчет нестационарных температурных и влажностных полей» на пять лет эксплуатации показывает, что максимальная влажность в толще (в теплоизоляционном слое) каркасно-обшивной конструкции без пароизоляционного слоя составляет 34% на второй год. С применением пароизоляции в составе КОС максимальная влажность составила 5,6% на второй год. В последующие года (до пяти лет) влажность в теплоизоляционном слое в период максимального увлажнения не изменялась, как для конструкции с пароизоляцией, так и без нее. Наружный климат оказывает значительное влияние на влажностный режим конструкции. Более низкая температура приводит к более интенсивному приросту влаги в толще ограждающей конструкции. В теплый период года влага, накопленная за зимний период, удаляется из конструкции, тем самым обеспечивается нормальное влажностное состояние ограждения – так называемый, квазистационарный режим.

В результате тепловизионного обследования эксплуатируемого объекта, построенного по технологии ЛСТК, наблюдалось равномерное распределение температуры по всему периметру ограждающей конструкции, за исключением зон теплопроводных включений, таких как металлические профили, контур примыкания оконных блоков, мест примыкания цокольного перекрытия и отдельных узлов каркасно-обшивной конструкции. В связи с этим, в указанных зо-

нах рекомендуется использование термовкладышей из эффективных утеплителей.

Заключение

1. Применение пароизоляционного слоя с внутренней стороны конструкции каркасно-обшивной стены исключает переувлажнение материалов в толще конструкции.

2. Расчеты за пятилетний период эксплуатации показали, что максимальная влажность в толще каркасно-обшивной стены наблюдается во второй год в период наибольшего увлажнения (январь). Для каркасно-обшивной конструкции с применением пароизоляции максимальная влажность составила 5,6%, что приблизительно соответствует нормативным значениям эксплуатационной влажности согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» приложение Т: для «Плиты минераловатные из каменного волокна» плотностью 80–125 кг/м³, W_г=5 мас. %. Без использования пароизоляционного слоя максимальная влажность на второй год составляет 36%, что превышает нормативное значение более, чем в семь раз.

3. Результаты тепловизионного обследования показали равномерное распределение температуры по основной глади стены и повышенные значения температуры в зонах теплопроводных включений. Увлажненных зон не обнаружено.

Для набора статистических данных по теплозащитным и акустическим свойствам наружных и внутренних ограждений зданий из легких стальных тонкостенных конструкций необходимо проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в том числе, проведение натурных обследований эксплуатируемых объектов.

Список литературы

1. Назмеева Т.В. Пособие по проектированию строительных конструкций малоэтажных зданий из стальных холодногнутых оцинкованных профилей (ЛСТК). Ассоциация развития стального строительства. М.: Первый ИПХ, 2021. 238 с.
2. Храпова Т.Е., Рябов М.А., Фетисов В.В. Каркасные дома: технология строительства дома из ЛСТК. *Новые технологии в учебном процессе и производства. Материалы XVI межвузовской научно-технической конференции.* 2018. С. 170–175.
3. Тналиева З.К. Исследование методов проектирования и строительства быстровозводимых зданий из ЛСТК. *Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования. Материалы IX Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников.* Астрахань: Астраханский государ-

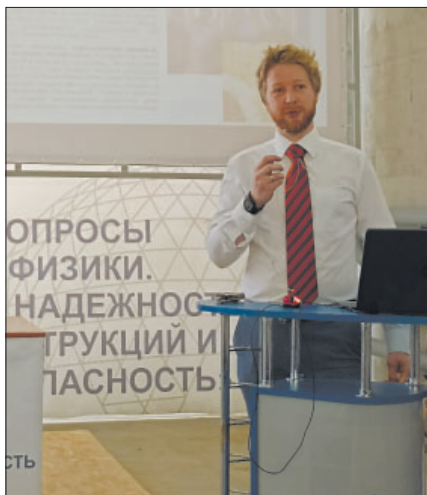
References

1. Nazmееva T.V. Posobie po proektirovaniu stroitel'nykh konstrukttsii maloetazhnykh zdaniy iz stal'nykh kholodnognutnykh otsinkovannykh profilei (LSTK) [Manual for the design of building structures of low-rise buildings from cold-bent galvanized steel profiles (LSTK)]. Moscow: Pervuy IPH. 2021. 238 p.
2. Hrapova T.E., Ryabov M.A., Fetisov V.V. Frame houses: the technology of building a house from LSTK. *New technologies in the educational process and production. Materials of XVI interuniversity scientific and technical conference.* 2018, pp. 170–175. (In Russian).
3. Tatalieva Z.K. Research of methods of design and construction of high-speed buildings from LSTK. *Potential of intellectually gifted youth – development of science and education: materials of the IX International Scientific Forum of Young Scientists, Innovators, Students*

- ственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 528–534.
4. Корнилов Т.А., Герасимов Г.Н. Наружные стены малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкций для условий Крайнего Севера // *Жилищное строительство*. 2016. № 7. С. 20–25.
 5. Тилинин Ю.И., Пивоварчик А.В., Олефиренко А.А. Технологии малоэтажного строительства // *Colloquium-Journal*. 2021. № 14–1 (101). С. 4–7.
 6. Корнилов Т.А., Герасимов Г.Н. О некоторых ошибках проектирования и строительства малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкций в условиях Крайнего Севера // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 3. С. 41–45.
 7. Корнилов Т.А., Герасимов Г.Н. Энергоэффективные решения соединения наружной стены с цокольным перекрытием малоэтажных домов из ЛСТК в условиях Крайнего Севера // *Жилищное строительство*. 2017. № 1–2. С. 36–41.
 8. Лещенко М.В., Семко В.А. Теплотехнические свойства стеновых ограждающих конструкций из стальных тонкостенных профилей и полистиролбетона // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 8. С. 44–52.
 9. Безбородов Е.Л. Влияние перфорации на теплотехнические характеристики «термопрофилей» легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) // *Инновации и инвестиции*. 2019. № 2. С. 191–194.
 10. Безбородов Е.Л. Геометрические характеристики современных «термопрофилей» легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 2. С. 141–143.
 11. Безбородов Е.Л. Наружные стены с каркасом из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) // *Инновации и инвестиции*. 2018. № 2. С. 186–190.
 12. Белоус А.Н., Белоус О.Е., Кулумбегова Л.З. Влияние теплопроводных включений на амплитуду колебания температуры внутренней поверхности каркасно-щитовых зданий // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2022. Т. 24. № 2. С. 138–146. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-138-146
 13. Белоус А.Н., Белоус О.Е., Кулумбегова Л.З., Крахин С.В. Теплоустойчивость наружных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями в летний период года // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2021. Т. 23. № 6. С. 129–142. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142
 14. Белоус А.Н., Кулумбегова Л.З., Белоус О.Е. Определение теплоустойчивости малоинерционных ограждающих конструкций // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2021. Т. 23. № 4. С. 112–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-112-119
- and Schoolchildren*. Astrakhan, April 28–29, 2020. Astrakhan: Astrakhan State Architectural and Construction University. 2020, pp. 528–534. (In Russian).
4. Kornilov T.A., Gerasimov G.N. Exterior walls of low-rise buildings of light steel thin-walled structures for the conditions of the Far North. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 7, pp. 20–25. (In Russian).
 5. Tilinin Yu.I., Pivovarchik A.V., Olefirenko A.A. Low-rise building technologies. *Colloquium-Journal*. 2021. No. 14–1 (101), pp. 4–7. (In Russian).
 6. Kornilov T.A., Gerasimov G.N. On some mistakes of design and construction of low-rise houses from light steel thin-walled structures in the conditions of the Far North. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 3, pp. 41–45. (In Russian).
 7. Kornilov T.A., Gerasimov G.N. Energy-efficient solutions for connecting the outer wall with the basement ceiling of low-rise houses from LSTK in the conditions of the Far North. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 1–2, pp. 36–41. (In Russian).
 8. Leshchenko M.V., Semko V.A. Thermal properties of wall enclosing constructions made of thin-walled steel profiles and polystyrene concrete. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2015. No. 8, pp. 44–52. (In Russian).
 9. Bezborodov E.L. Perforation effect on thermal profile performance of light gauge steel framing. *Innovatsii i investitsii*. 2019. No. 2, pp. 191–194. (In Russian).
 10. Bezborodov E.L. Geometrical characteristics of modern “termprofil” light steel thin-walled structures (LSTK). *Innovatsii i investitsii*. 2020. No. 2, pp. 141–143. (In Russian).
 11. Bezborodov E.L. Outer Walls with Frame of Light Steel Thin Wall Structures (LSTK). *Innovatsii i investitsii*. 2018. No. 2, pp. 186–190. (In Russian).
 12. Belous A.N., Belous O.E., Kulumbegova L.Z. Influence of heat-conductive inclusions on the temperature fluctuation of the internal surface of the frame-panel buildings. *Vestnik of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2022. Vol. 2. No. 2, pp. 138–146. (In Russian). DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-138-146
 13. Belous A.N., Belous O.E., Kulumbegova L.Z., Krakhin S.V. Thermal resistance of building envelopes with heat-conducting elements in summer period. *Vestnik of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2020. No. 6, pp. 129–142. (In Russian). DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142
 14. Belous A.N., Kulumbegova L.Z., Belous O.E. Determination of thermal stability of low-voltage enclosing structures. *Vestnik of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2021. No. 4, pp. 112–119. (In Russian). DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-112-119

XIV Академические чтения, посвященные памяти академика РААСН Осипова Г.Л., «Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение. Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность. Строительная физика — новым территориям»

В НИИСФ РААСН (Москва) с 4 по 6 июля 2023 г. прошла ежегодная традиционная научная конференция, посвященная памяти д-ра техн. наук, академика РААСН Г.Л. Осипова — основоположника направления «Строительная акустика» в СССР и РФ. Конференция проводится при поддержке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. Журналы «Строительные материалы»[®] и «Жилищное строительство» выступили информационными партнерами мероприятия.



В 2023 г. в рамках конференции состоялась панельная дискуссия «Цифровое техническое регулирование в строительстве. Машиночитаемые и машинопонимаемые стандарты». О перспективах использования в строительной отрасли умных (SMART) стандартов известно давно. Приказом Росстандарта от 06.07.2021 г. № 1190 создан проектный технический комитет по стандартизации ПТК 711 «Умные (SMART) стандарты». Основные задачи: разработать стандарты на SMART-стандарты; организовать профессиональное экспертное сообщество.

Машиночитаемые стандарты – документы, содержание которых легко воспринимается, обрабатывается и передается с помощью компьютерных систем. SMART-стандарты (Standards Machine Applicable, Readable & Transferrable) – стандарты в виде баз данных, моделей и т. д., ключевым потребителем которых является информационная система.

SMART-стандарты нужны для создания человекоориентированных информационных сервисов (например: сервиса поддержки экспертной работы при разработке стандартов; профессиональных справочных систем, включающих стандарты, системы управления требованиями); машиноориентированных информационных сервисов (например: сервиса автоматизированной проверки строительной проектной документации, сервиса проверки технической документации на продукцию). При автоматизированной проверке неформатных моделей проводится автоматизированное сравнение параметров из нормативной документации на основании присвоенных кодов Классификатора строительной информации. Результат внедрения SMART-стандартов – минимизация допущенных ошибок на этапе проектирования и автоматизация последующих проверок.

По словам директора НИИСФ РААСН д-ра техн. наук, члена-корр. РААСН И.Л. Шубина, подготовка профессиональных кадров является важнейшей задачей в период модернизации российской экономики и перехода ее на инновационный путь развития. Специалисты новой формации быстро и эффективно осваивают новые технологии, кардинально повысят производительность труда и создадут конкурентоспособную продукцию. В рамках мероприятия вручили ежегодные награды «За лучшие работы в области строительной физики». Лауреатом золотой медали им. академика Г.Л. Осипова в 2023 г. стал д-р техн. наук, директор НТЦ по проблемам строительства и архитектуры Тамбовского государственного технического университета А.А. Антонов. Работы лауреатов серебряной медали опубликованы в журналах «Строительные материалы»[®] № 6-2023 и «Жилищное строительство» № 6, 7-2023.



УДК 699.86

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-29-34>

И.С. КУРИЛЮК¹, ведущий инженер (housetest@yandex.ru);
С.И. КРЫШОВ², канд. техн. наук (skryshov@yandex.ru)

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² Центр экспертизы, исследований и испытаний в строительстве (ГБУ «ЦЭИИС») (109052, г. Москва, Рязанский пр., 13)

Оценка минимальной температуры на светопрозрачных конструкциях по данным натуральных измерений

Рассмотрена проблематика определения (прогнозирования) минимальной температуры поверхности ограждающих строительных конструкций в расчетных условиях. Установлено, что применяемые в настоящее время расчетные методы определения основных теплотехнических характеристик ограждающих конструкций – приведенного сопротивления теплопередаче и температуры внутренней поверхности – зачастую значительно завышают искомые значения, а условия для проведения натурального эксперимента складываются раз в несколько лет. Предложен комбинированный расчетно-экспериментальный метод определения температуры внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций, основанный на прогнозировании температуры поверхности ограждающей конструкции по результатам расчета по формуле подобия статистических массивов данных измерений температуры, проведенных в натуральных условиях на испытываемой конструкции. На примере испытания типового оконного блока, установленного в возводимом на момент проведения измерений здании в Москве, изложена методика осуществления полного цикла работ по определению (прогнозированию) минимальной температуры оконного профиля в расчетных условиях. Описаны основные требования к условиям проведения работ, средствам измерений, местам установки датчиков, продолжительности измерений, обработке результатов. Дополнительно рассмотрены вопросы, связанные с факторами, влияющими на погрешность измерений и расчетов. Выполнение работ по определению (прогнозированию) минимальной температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций здания по изложенному методу в сочетании с испытаниями по определению приведенного сопротивления теплопередаче позволяет провести оценку соответствия теплотехнических параметров испытываемой конструкции по двум важнейшим критериям из трех нормируемых СП 50.13330.2012 (с Изменением № 2).

Ключевые слова: минимальная температура, внутренняя поверхность, светопрозрачные ограждающие конструкции, натурные измерения, экспериментально-расчетный метод, теплозащитные показатели.

Для цитирования: Курилюк И.С., Крышов С.И. Оценка минимальной температуры на светопрозрачных конструкциях по данным натуральных измерений // *Жилищное строительство*. 2023. № 7. С. 29–34.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-29-34>

I.S. KURILYUK¹, Leading Engineer, (housetest@yandex.ru); S.I. KRYSHOV², Candidate of Sciences (Engineering)

¹ Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

² Center for Expertise, Research and Testing in Construction (GBU “TSEIIS”) (13, Ryazansky Avenue, Moscow, 109053, Russian Federation)

Estimation of the Minimum Temperature on Translucent Structures According to Field Measurements

The problems of determining (forecasting) the minimum surface temperature of enclosing building structures under design conditions are considered. It has been established that the currently used calculation methods for determining the main thermal characteristics of enclosing structures – the reduced resistance to heat transfer and the temperature of the inner surface, often significantly overestimate the desired values, and the conditions for conducting a full-scale experiment develop every few years. A combined computational-experimental method for determining the temperature of the inner surface of external enclosing structures is proposed, based on predicting the surface temperature of the enclosing structure based on the results of calculation using the similarity formula for statistical data arrays of temperature measurements taken in natural conditions on the test structure. On the example of testing a typical window unit installed in a building under construction at the time of measurements in Moscow, a methodology for the implementation of a full cycle of work to determine (predict) the minimum temperature of a window profile under design conditions is outlined. The basic requirements for the conditions of work, measuring instruments, sensor installation locations, measurement duration, and processing of results are described. Additionally, issues related to the factors affecting the measurement and calculation errors are considered. The performance of work to determine (predict) the minimum temperature of the inner surface of the building envelope according to the above method, in combination with tests to determine the reduced resistance to heat transfer, makes it possible to assess the compliance of the thermal parameters of the tested structure according to two of the three most important criteria, normalized by SP 50.13330–2012 (with Amendment No. 2).

Keywords: minimum temperature, inner surface, translucent enclosing structures, full-scale measurements, experimental-computational method, heat-shielding indicators.

For citation: Kurilyuk I.S., Kryshov S.I. Estimation of the minimum temperature on translucent structures according to field measurements. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 7, pp. 29–34. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-29-34>

СП 50.13330.2012 (с Изменением № 2) «Тепловая защита зданий» регламентирует требования к наружным ограждающим конструкциям по трем основным показателям: сопротивлению теплопередаче, минимальным температурам на внутренних поверхностях и сопротивлению воздухопроницанию.

Требования к минимальным значениям температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций изложены в п. 5.7 СП 50.13330.2012 (с Изменением № 2). В частности, для Московского региона минимальная температура на несветопрозрачных частях (профилях) окна (при температуре внутреннего воздуха 20°C и температуре наружного воздуха минус 25°C) должна быть не менее 7,7°C. Значение минимальной температуры на внутренней поверхности строительных ограждающих конструкций имеет большое значение не только с точки зрения обеспечения условия отсутствия возможности образования конденсата, но и с точки зрения комфортных условий проживания. Оценить минимальную температуру $t_{в}$ можно тремя путями.

1. Непосредственно измерить при выполнении соответствующих температурных условий (температура внутреннего воздуха 20°C, наружного минус 25°C). Однако такая возможность в Москве представляется крайне редко, в лучшем случае один раз за пятилетний период.

2. Составить математическую модель и провести соответствующий расчет. Однако точность получаемых результатов не гарантирована и часто наблюдаются существенные расхождения, причем расчет зачастую демонстрирует значительно лучший результат, чем натурный эксперимент. В настоящее время активно применяются различные, в том числе изложенные в государственных стандартах, расчетные методы определения сопротивления теплопередаче и минимальной температуры на поверхности ограждающей конструкции, при этом значения фактической и расчетной температуры могут различаться, как правило, завышая температуру, полученную расчетом, по сравнению с фактической [1–6].

3. Возникает необходимость взаимосвязи нормирования, расчетов и фактических теплотехнических показателей ограждающих конструкций. Предлагается провести натурный эксперимент достаточной продолжительности и воспользоваться методами теории подобия для пересчета к требуемым температурным соотношениям.

Алгоритм измерений сопротивления теплопередаче на реальных объектах изложен в ГОСТ Р 59939–2021 «Метод определения сопротивления теплопередаче в натуральных условиях» (метод 2).

Ниже рассмотрим метод определения (прогнозирования) минимальной температуры внутренней

поверхности ограждающих конструкций зданий по результатам комбинированного расчетно-экспериментального метода перерасчета данных измерений температуры в натуральных условиях, используя формулу подобия:

$$\tau_{bi} = t_{в} - \frac{(t_{в}^i - \tau_{в}^i) \cdot (t_{в} - t_{н})}{(t_{в}^i - t_{н}^i)}, \quad (1)$$

где $t_{в}^i$ – текущее значение температуры внутреннего воздуха (в i -й момент времени измерений), °C; $\tau_{в}^i$ – измеряемая температура на внутренней поверхности в i -й момент времени, °C; $t_{н}^i$ – текущее значение (в i -й момент времени) температуры наружного воздуха, °C; $t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °C; $t_{н}$ – расчетная температура наружного воздуха, °C; τ_{bi} – экспериментально-расчетная температура на внутренней поверхности для заданных $t_{в}$ и $t_{н}$, соответствующая i -му моменту времени, °C.

В итоге в качестве искомой величины $\tau_{в}$ вычисляется средняя величина по всему массиву значений $\{\tau_{bi}\}$.

Погрешность δ , °C, определения минимальной температуры может быть оценена формулой:

$$\delta = k \cdot \frac{t_{в} - t_{н}}{\tau_{в} - t_{н}} + \gamma, \quad (2)$$

где $\tau_{в}$ – средняя за период измерений температура на внутренней поверхности, °C; $t_{н}$ – средняя за период измерений температура наружного воздуха, °C; γ – абсолютная погрешность измерения датчиков температуры, °C; k – коэффициент погрешности экстраполяции.

Метод универсален и позволяет определять температуру в любой точке ограждающих конструкций здания. Поскольку светопрозрачные конструкции обладают низкой тепловой инерцией, данный метод удобнее рассматривать на них.

Прогнозирование температуры на внутренних поверхностях конструкций может быть выполнено одновременно с измерениями приведенного сопротивления теплопередаче или автономно. Рекомендуемый период проведения измерений на светопрозрачных конструкциях в натуральных условиях от 3 до 10 сут.

По данным измерений проводится построение графиков изменения температуры для анализа процесса теплопередачи, выявления воздействия помех, а также определения средних значений за период испытаний.

Необходимыми условиями для проведения измерений на светопрозрачных конструкциях являются:

- холодный период года;
- наличие замкнутого прогретого строительного объема (помещения) с установленной согласно требованиям проекта испытуемой светопрозрачной ограждающей конструкцией;

Таблица 1
Table 1

Средства измерений
Measuring instruments

Средства измерений	Назначение
Камера для проведения энергетических обследований тепловых полей (тепловизор)	Проведение тепловизионной съемки и фиксация распределения температуры на обследуемых конструкциях
Комплекс измерительный iBDL Ревизор (термохроны)	Измерение и фиксация температуры на обследуемых конструкциях в автономном режиме
Анемометр-термометр цифровой	Предварительное измерение показателей микроклимата (не обязательно)
Рулетка измерительная	Измерение геометрических параметров испытуемых конструкций (не обязательно)

– разность температуры внутреннего воздуха помещения и наружного воздуха в период испытаний должна быть не менее 15°C;

– по крайней мере одна створка испытуемой светопрозрачной конструкции должна быть открываемой для обеспечения установки датчиков снаружи конструкции;

– возможность запираания помещения, в котором проводят измерения, а также поддержание стабильной температуры внутреннего воздуха.

Работа по определению (прогнозированию) значений минимальной температуры внутренней поверхности начинается с ознакомления с исследуемым объектом. Проводится предварительная тепловизионная съемка для уточнения выбора испытуемых ограждающих конструкций и помещений, а также в целях получения информации по установившемуся температурно-влажностному режиму и обнаружению скрытых теплотехнических дефектов.

В качестве испытуемых рекомендуется выбирать типоразмеры конструкций, имеющие наибольшее применение на данном объекте.

Для минимизации воздействия солнечной радиации испытуемые светопрозрачные конструкции по возможности должны быть ориентированы на север.

Для выполнения исследований и измерения температуры светопрозрачной наружной ограждающей конструкции обследуемого объекта рекомендуется применять средства измерений, занесенные в госреестр и указанные в табл. 1.

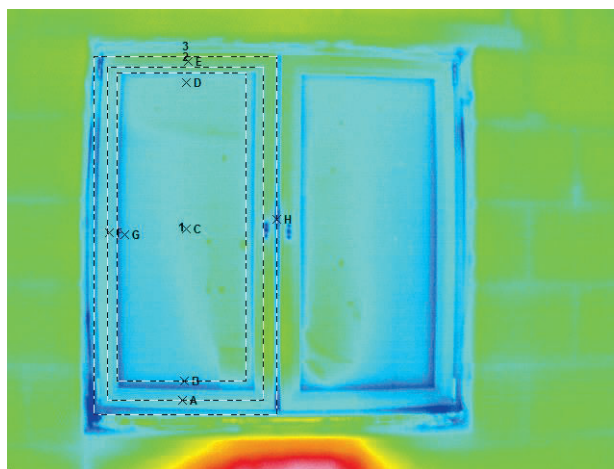
Схема установки датчиков зависит от результатов тепловизионной съемки, а также типа и конструктивных особенностей испытуемой ограждающей конструкции.

Для определения минимальной температуры датчики устанавливаются (изнутри) в нижнем углу стеклопакета и (или) на нижнем профиле светопрозрачной конструкции, а также в центре помещения и снаружи ограждающей конструкции.

Ниже продемонстрирован расчет (прогнозирование) минимальной температуры на нижнем горизонтальном профиле коробки ПВХ окна, установленного в строящемся здании. Данный пример специально подобран и интересен тем, что в период измерений



Рис. 1. Испытуемый оконный блок с измерительным оборудованием
Fig. 1. Tested window block with measuring equipment



Область	Мин., °C	Макс., °C	Средн., °C
1	13,4	19	16,4
2	13	19	16,4
3	11,4	19,2	16,4

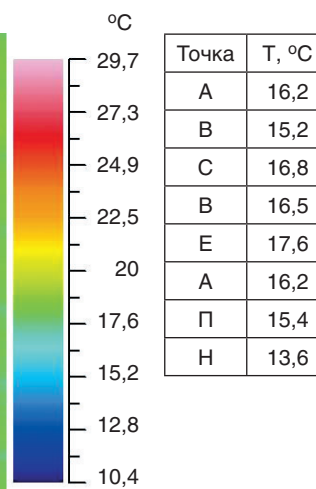


Рис. 2. Термограмма испытуемого оконного блока
Fig. 2. Thermogram of the tested window block

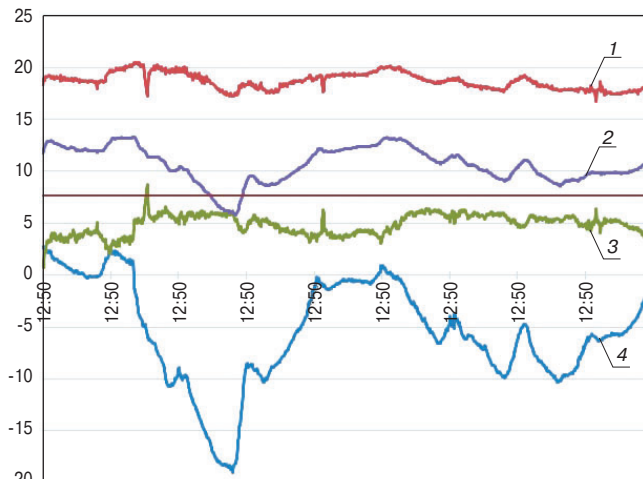


Рис. 3. Графики изменения температуры за 9 сут: 1 – температура внутреннего воздуха помещения; 2 – температура на нижнем профиле оконной коробки; 3 – экспериментально-расчетная температура на нижнем профиле ($t_{в}=+20^{\circ}\text{C}$; $t_{н}=-25^{\circ}\text{C}$) по формуле (1); 4 – температура наружного воздуха. Горизонтальная прямая линия соответствует минимально допустимой температуре на профилях окна $+7,7^{\circ}\text{C}$

Fig.3. Graphs of temperature changes for 9 days: 1 – indoor air temperature; 2 – temperature on the lower profile of the window frame; 3 – experimental-calculated temperature on the lower profile ($t_{в}=+20^{\circ}\text{C}$; $t_{н}=-25^{\circ}\text{C}$) according to the formula (1); 4 – outdoor air temperature. The horizontal straight line corresponds to the minimum allowable temperature on the window profiles $+7,7^{\circ}\text{C}$

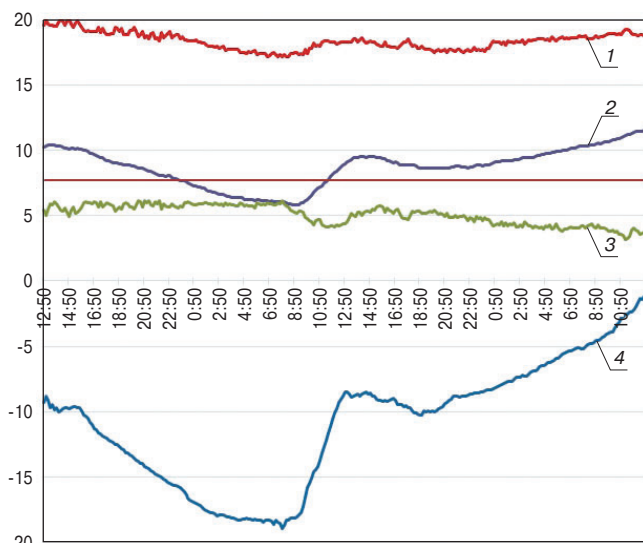


Рис. 4. Графики изменения температуры за 2 сут. Нумерация графиков соответствует рис. 3

Fig. 4. Graphs of temperature changes for 2 days. The numbering of the graphs corresponds to Fig. 3

температура наружного воздуха изменялась в широком диапазоне (от минус 18 до плюс 2°C), а испытываемая конструкция представляет собой стандартный оконный блок из ПВХ профилей с традиционно установленным отопительным прибором. Измерение температуры проводилось совместно с измерением тепловых потоков в целях определения приведенного сопротивления окна с размерами проема $1,5 \times 1,5$ м, изображенного на рис. 1.

Термографический снимок с указанием фактических значений температуры различных точек и областей приведен на рис. 2. На рис. 3 представлены графики изменения температуры за девятисуточный период измерений. Показания датчиков фиксировались с интервалом 10 мин в течение периода испытаний в автоматическом режиме.

Построение графиков температуры за период испытаний, приведенных на рис. 3, позволяет наглядно представить полученные результаты и выполнить их анализ.

Горизонтальная ось графика отражает продолжительность периода испытаний, вертикальная – температуру, измеряемую датчиками. Отсчет очередных суток ведется с момента 12:50. Начало каждого суток отмечено временем 12:50 на горизонтальной оси.

Наибольший интерес представляет период третьих-четвертых суток измерений из-за резкого снижения температуры наружного воздуха до минус 18°C и последующего стремительного возрастания до 0°C . Этот участок графиков достоин более подробного представления и продемонстрирован на рис. 4. Показателен факт касания (совпадения значений) графика непосредственно измеряемой температуры на профиле окна и экспериментально-расчетной по формуле подобия (1).

Графическое изображение изменения минимальной температуры показывает, что ее среднее значение за весь период испытаний колеблется около 5°C . Усредненное значение искомой минимальной температуры по результатам расчетов значений для 1280 натуральных замеров, по которым построены графики на рис. 3, составляет $4,9^{\circ}\text{C}$.

Колебания значений минимальной температуры сопоставимы с колебаниями температуры внутреннего воздуха. Особенно контрастно это выражено в периоды нарушений подачи тепла в помещение, например в середине вторых суток.

Отдельные явно выраженные дефекты процесса теплопередачи при усреднении по большому количеству замеров оказывают незначительное влияние. Другой путь – устранение таких показаний из общего массива обрабатываемых данных.

Для численной демонстрации влияния продолжительности периода усреднения приведены результаты табл. 2. Можно оценить сходимость усредненных результатов замеров в течение одних, двух и трех суток.

Если рассматриваем произвольные сутки, то разность максимального и минимального значений по выборке из девяти суток более 2°C . При обработке данных средних значений трехсуточных испытаний разброс не более $0,8^{\circ}\text{C}$. Эта величина уже соразмерна абсолютной погрешности измерения температуры γ с применением датчиков.

Таблица 2
Table 2

Влияние продолжительности эксперимента на погрешность определения температуры
Influence of the duration of the experiment on the error in determining the temperature

Интервал усреднения – одни сутки (1-е, 2-е сутки и т. д.)								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Средняя температура за сутки по формуле подобия								
3,6	4,9	5,6	4,6	4	5,5	5,7	5,3	4,9
Интервал усреднения – двое суток								
1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9	
Средняя температура за двое суток								
4,3	5,3	5,1	4,3	4,8	5,6	5,5	5,1	
Интервал усреднения – трое суток								
1–3	2–4	3–5	4–6	5–7	6–8	7–9		
Средняя температура за трое суток								
4,7	5	4,7	4,7	5,1	5,5	5,3		

Другой фактор возрастания погрешности – расширение границ интерполяции из-за уменьшения разности температуры внутреннего и наружного воздуха. Для учета этого фактора в формуле (2) введен коэффициент погрешности экстраполяции k .

Для обоснованного выбора значения k требуется анализ большого количества результатов испытаний с заданием доверительной вероятности нахождения минимальной температуры в интервале $[\tau_{в}-\delta, \tau_{в}+\delta]$.

Ориентируясь по графику рис. 3, можно предположить, что отклонение измеренной минимальной температуры в течение произвольных трех суток испытаний от ее фактического значения с вероятностью 0,9–0,95 не превышает $\delta=2-2,5^{\circ}\text{C}$, тогда коэффициент погрешности экстраполяции k в формуле (2) не превысит 0,5 для рассматриваемого эксперимента.

Внимательные читатели наверняка заметили датчики измерения плотности теплового потока, установленные на испытуемом окне, выбранном для демонстрации метода определения (прогнозирования) минимальной температуры поверхности. Сопротивление теплопередаче элементов окна по результатам испытаний: профиль коробки $0,59 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; профиль створки $0,77 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; стеклопакет $0,51 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; оконный блок в целом $0,56 \text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Данные фактические значения приведенного сопротивления теплопередаче оконного блока, полученные по результатам обработки массива данных измерений, проведенных в натуральных условиях, могут

многое сообщить о теплотехнических характеристиках строительных конструкций здания, производстве монтажных работ и ожидаемых, но всегда неожиданных теплопотерях.

Выводы

Требования к значению минимальной температуры указаны в п. 5.7 СП 50.13330–2012 (с Изменением № 2). Определение значения минимальной температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций в ходе натурного эксперимента практически неосуществимо, по результатам расчетов математических моделей дает требуемый результат вне зависимости от фактического процесса теплопередачи. Предложен экспериментально-расчетный метод определения (прогнозирования) температуры внутренней поверхности ограждающих строительных конструкций. Метод основан на статистическом расчете по формуле подобия массива натуральных измерений температуры испытуемой конструкции и прогнозировании значения температуры при интересующих условиях эксплуатации. При выполнении комплексных испытаний по определению приведенного сопротивления теплопередаче и минимальной температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций здания появляется возможность оценить соответствие испытуемой конструкции по двум важнейшим критериям из трех нормируемых СП 50.13330.2012.

Список литературы

1. Константинов А.П., Крутов А.А., Тихомиров А.М. Оценка теплотехнических характеристик оконных блоков из ПВХ профилей в зимний период эксплуатации // *Строительные материалы*. 2019. № 8. С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>

References

1. Konstantinov A.P., Krutov A.A., Tikhomirov A.M. Assessment of the PVC windows thermal characteristics in winter. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 8, pp. 65–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>

2. Верховский А.А., Константинов А.П., Смирнов В.А. Стандартизация и требования нормативной документации к светопрозрачным фасадным конструкциям на территории Российской Федерации // *Жилищное строительство*. 2020. № 6. С. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-35-40>
3. Константинов А.П., Крутов А.А., Тихомиров А.М. Оценка теплозащитных характеристик оконных блоков из ПВХ профилей в зимний период эксплуатации // *Строительные материалы*. 2019. № 8. С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>
4. Гагарин В.Г., Коркина Е.В., Тюленев М.Д. Влияние противостоящих зданий на энергосбережение здания с низкоэмиссионным остеклением // *Жилищное строительство*. 2022. № 3. С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-3-30-35>
5. Крышов С.И., Курилюк И.С. О фактических показателях энергоэффективности зданий. Причины и пути устранения несоответствия нормативам // *Энергосбережение*. 2018. № 4. С. 38–42.
6. Константинов А.П., Верховский А.А. Влияние отрицательных температур на теплотехнические характеристики оконных блоков из ПВХ профилей // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 3 (83). С. 72–82. DOI: <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-83-3-72-82>
2. Verkhovsky A.A., Konstantinov A.P., Smirnov V.A. Standardization and requirements of normative documentation for curtain walls in the Russian Federation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 6, pp. 35–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-35-40>
3. Konstantinov A.P., Krutov A.A., Tikhomirov A.M. Assessment of thermal protection characteristics of PVC window blocks in winter operation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 8, pp. 65–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>
4. Gagarin V.G., Korkina E.V., Tyulenev M.D. The effect of opposite buildings on energy saving of buildings with low-emission glazing. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2022. No. 3, pp. 30–35. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-3-30-35>
5. Kryshov S.I., Kurylyuk I.S. On the actual indicators of energy efficiency of buildings. Causes and ways to eliminate non-compliance with regulations. *Energoberegenie*. 2018. No. 4, pp. 38–42.
6. Konstantinov A.P., Verkhovsky A.A. The influence of negative temperatures on the thermal characteristics of window blocks made of PVC profiles. *Stroitel'stvo i reconstructcia*. 2019. No. 3 (83), pp. 72–82. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-83-3-72-82>

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

СПРАВОЧНИК ГЕОТЕХНИКА

Основания, фундаменты и подземные сооружения



Под общей редакцией академика РААСН, д-ра техн. наук профессора В.А. ИЛЬЧЕВА и члена-корреспондента РААСН, д-ра техн. наук профессора Р.А. МАНГУШЕВА

3-е издание, дополненное и переработанное.

Издательство АСВ. Москва. 2023

Печатается по решению Президиума РААСН и научного совета по механике грунтов, основаниям, фундаментам, геотехнике и инженерно-геологическим и инженерно-экологическим изысканиям для строительства Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН)

В сводном виде представлены основные вопросы инженерно-геологических изысканий, проектирования, устройства и реконструкции оснований и фундаментов, в том числе в сложных и особых инженерно-геологических условиях. Особое внимание уделено современным нормативно-техническим документам, а также новым видам конструкций и технологиям устройства оснований и фундаментов, методам их расчета и проектирования, в том числе и тем, которые прошли производственную апробацию, но еще не получили отражение в существующих нормативных документах. Освещены актуальные вопросы по проведению геотехнического мониторинга и использованию численных методов при геотехнических расчетах в проектировании. Дополнительно в 3-м издании представлена материалы по проектированию и устройству фундаментов зданий и сооружений на подрабатываемых территориях

Справочник предназначен для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций, студентов строительных вузов и факультетов.

УДК 628.292.65.011.4

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-35-39>

О.Г. ПРИМИН, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник (tepper2007@yandex.ru)

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Водные ресурсы. Проблемы систем водопользования России и направления их реконструкции

Приведен анализ водных ресурсов мира и Российской Федерации, состояние и проблемы водной отрасли России, а также пути их решения и тенденции в сфере водных ресурсов. Показано, что от водохозяйственной и экологической безопасности, уровня водообеспеченности населения и социальной сферы качественной питьевой водой, бесперебойности и достаточности водоснабжения отраслей экономики, состояния водных объектов и водных ресурсов, достоверности прогнозирования чрезвычайных водохозяйственных ситуаций, их своевременного предотвращения в немалой степени зависит национальная безопасность государства, здоровье населения. Подчеркивается, что в настоящее время для России проблема обеспечения населения питьевой водой требуемого качества в достаточном количестве и экологической безопасности водопользования является наиболее актуальной. Это не только технические проблемы устаревшего оборудования и общей технической отсталости, но прежде всего правовые, организационные и экономические проблемы. Отмечено, что во многом это связано с нарастающими темпами износа и неудовлетворительным техническим состоянием значительного числа централизованных систем и сооружений водоснабжения и водоотведения городов и поселений России, загрязнением водных объектов, отсутствием требуемых зон их санитарной охраны. Сделан вывод, что водохозяйственный комплекс России нуждается в серьезной модернизации.

Ключевые слова: водные ресурсы, система водоснабжения, водоотведение, водопользование, надежность, проблемы, решения, реконструкция.

Для цитирования: Примин О.Г. Водные ресурсы. Проблемы систем водопользования России и направления их реконструкции // *Жилищное строительство*. 2023. № 7. С. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-35-39>

O.G. PRIMIN, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Chief Researcher, (tepper2007@yandex.ru)
Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Water Resources. Problems of Water Use Systems in Russia and Directions of Their Reconstruction

An analysis of the water resources of the world and the Russian Federation, the state and problems of the water industry in Russia, ways to solve them and trends in the field of water resources are given. It is shown that the national security of the state, population health largely depends on water management and environmental safety, the level of water supply of the population and the social sphere with high-quality drinking water, the continuity and sufficiency of water supply to economic sectors, the state of water bodies and water resources, the reliability of forecasting emergency water management situations, and their timely prevention. population health. It is emphasized that at present for Russia the problem of providing the population with drinking water of the required quality in sufficient quantities and the environmental safety of water use is the most relevant. These are not only technical problems of obsolete equipment and general technical backwardness, but, above all, legal, organizational and economic problems. It is noted that this is largely due to the increasing rate of wear and tear and unsatisfactory technical condition of a significant number of centralized systems and facilities for water supply and sanitation of cities and towns in Russia, pollution of water bodies, and the lack of required zones for their sanitary protection. It is concluded that the water management complex of Russia needs serious modernization.

Keywords: water resources, system, water supply, water disposal, water use, reliability, problems, solutions, reconstruction.

For citation: Primin O.G. Water resources. Problems of water use systems in Russia and directions of their reconstruction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 7, pp. 35–39. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-35-39>

В последние десятилетия объем потребления воды в мире растет с угрожающей скоростью. По данным ООН, 11% мирового населения имеют доступ к безопасным источникам воды; 17% проживают в районах, где существует ее дефицит; 22% испытывают нехватку чистой воды, вызванную экономическими причинами. В настоящее время примерно 700 млн чел. в 43 странах располагают водными ресурсами в объеме ниже минимальной потребности человека. Около 1,4 млрд чел. в скором времени окажутся лишенными доступа к са-

нитарно-техническим средствам, почти 240 млн чел. (в основном в сельской местности) – к чистой воде [1].

Некоторые расчеты показывают, что к середине XXI в. питьевая вода естественного происхождения в большинстве регионов мира превратится в дефицитный продукт, а снабжение будет обеспечиваться благодаря ее ввозу (в том числе из арктической и антарктической зон), а также благодаря различным, зачастую дорогостоящим технологиям опреснения и очистки воды [2]. В России ситуация в сфере водных ресурсов более

благополучная, чем во многих других странах мира. На сегодняшний день Российская Федерация находится на втором месте в мире по запасам пресной воды. Среднемноголетние возобновляемые водные ресурсы России составляют 10% мирового речного стока. В РФ находится более четверти мировых запасов пресной воды: 23% – только в озере Байкал (Природно-ресурсный комплекс Российской Федерации. Аналитический доклад. М.: НИИ-ПРИРОДА, 2018. 267 с.).

Главный недостаток российских водных ресурсов – их крайне неравномерное распределение по территории страны. Большая часть водных ресурсов России (90%) сосредоточена в бассейнах Северного Ледовитого и Тихого океанов, где проживает менее 15% населения страны. Наибольший дефицит водных ресурсов проявляется в европейской части страны – бассейнах Черного и Каспийского морей, на эти территории приходится менее 10% речного стока (Демин А.П. Обеспечение питьевой водой населения России. М.: Институт водных проблем РАН, 2019).

Практически все поверхностные и большая часть подземных водных объектов, особенно в европейской части страны и в районах размещения крупных промышленных и сельскохозяйственных комплексов, испытывают значительное антропогенное воздействие, что выразилось в загрязнении, истощении и деградации водных объектов и представляет угрозу безопасности населения. С повышенным содержанием железа потребляют воду около 50 млн человек (1/3 населения страны). Около 28% населения страны потребляет воду с уровнем общей минерализации питьевой воды от 1,6 до 10 г/л, что повышает риск заболевания населения сердечно-сосудистой патологией и мочекаменной болезнью (города Таганрог и Каменск, Элиста, Азовский район Ростовской области) [3].

В 2021 г. услугами централизованного водоснабжения обеспечено 100% городов, 97% поселков городского типа, но всего 33% сельских поселений России. Качественно услуги водоснабжения и канализации остаются на неудовлетворительном уровне относительно требований действующего законодательства (Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году». <https://www.rospotrebnadzor.ru>. Дата обращения: 04.06.2022).

В 2021 г. доля всех источников централизованного питьевого водоснабжения, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям, составила 15%. Основной причиной несоответствия является отсутствие зон санитарной охраны [5]. Отставание России от развитых стран по средней продолжительности жизни и повышенная смертность (особенно детская) в определенной мере связаны с потреблением недоброкачественной питьевой воды (Концепция стратегии развития

водопроводно-канализационного хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года. Российская ассоциация водоснабжения и водоотведения. <http://government.ru/docs/all/26205/>). Около 27% водозаборов из поверхностных источников водоснабжения не имеют необходимого комплекса очистных сооружений, в том числе 16% не оснащены обеззараживающими установками.

За последние 20 лет существовало несколько государственных программ, направленных на решение проблем водообеспечения: «Вода России XXI век», «Возрождение Волги», «Обеспечение населения России питьевой водой», «Экология и природные ресурсы», «Жилище», федеральная целевая программа «Чистая вода России» и т. д., однако большинство из них не выполнены.

Полномасштабная реализация намеченных программных мероприятий сдерживается нехваткой средств в федеральном бюджете и бюджетах субъектов Российской Федерации (<https://minstroyrf.gov.ru/docs/140228/>).

В последние годы во многих регионах за счет привлечения средств бюджетов, внебюджетных источников, займов и других инвестиций проводится комплекс водосберегающих мероприятий по рациональному расходованию воды в промышленности и жилищном фонде. В результате объем использования воды на хозяйственно-питьевые нужды в России стремительно сокращается. С 2000 по 2019 г. среднесуточное водопотребление из централизованных систем водоснабжения в расчете на жителя городов и поселений снизилось с 254 до 144 л. Это привело к технологическим и экономическим проблемам предприятий водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) – увеличению затрат на эксплуатацию при снижении поступления объема оплаты за подачу и очистку воды [6].

Есть и экономические проблемы. Состояние водопроводно-канализационного хозяйства оценивается как кризисное – износ основных средств колеблется от 50 до 70% и ежегодно увеличивается на 2–3%. В целом по отрасли накоплено более 145 млрд р. убытков (https://urbaneconomics.ru/sites/default/files/ib_wsn_presentation_iue.pdf). По Российской Федерации доля непроизводительных потерь воды, не приносящих прибыли, составляет 25% общего объема забора. Одной из причин высоких потерь воды является изношенность сетей.

В этой связи очевидно, что состояние водной отрасли России, и в частности централизованных систем водоснабжения и водоотведения значительного числа городов и поселений России, с точки зрения соответствия их установленным нормативным требованиям, износа и надежности вызывает тревогу.

Дефицит финансирования в отрасли оценивается в 4,6 трлн р. до 2030 г. В то же время следует отметить, что в 2023 г. общий объем бюджетных вложений

в обновление сферы ЖКХ резко вырастет. На модернизацию коммунальной инфраструктуры планируется 440 млрд р. – в 2,5 раза больше, чем в 2022 г. Однако эта сумма составит лишь десятую часть финансирования, требующегося изношенной инфраструктуре ЖКХ для решения всех проблем.

Одна из основных проблем – водопроводные и водоотводящие трубопроводы. По протяженности подземных трубопроводов Россия занимает второе место в мире, а по изношенности труб – одно из первых. В настоящее время 40% сетей водоснабжения и водоотведения нуждаются в ремонте – 391 тыс. из 940 тыс. км. Наблюдается устойчивая тенденция к увеличению объема аварийного фонда сетей. Для решения проблемы износа сетей темпы обновления надо увеличивать с нынешних 1,5–2 до 5% в год.

Пути решения **проблемы повышения надежности трубопроводов централизованных систем водоснабжения и водоотведения, их реконструкции** [7]:

1. Увеличение объемов перекладки и реконструкции трубопроводов с приоритетным использованием высокопрочных чугунных труб с шаровидным графитом (ВЧШГ) и полимерных труб.

Исследования НИИСФ и практика строительства показали, что в настоящий момент для прокладки новых водопроводных сетей преимущественными являются следующие материалы:

- трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) с наружным цинковым и внутренним цементно-песчаным покрытием [8];
- полимерные трубы с защитной оболочкой;
- стальные (сталь 20 и сталь 17Г1С, 17Г1СУ) трубы с внутренним цементно-песчаным покрытием и наружной изоляцией усиленного типа.

2. Использование инновационных, бестраншейных технологий ремонта и прокладки трубопроводов.

В условиях плотной городской застройки, насыщенности подземного пространства инженерными коммуникациями, наличием дорог с интенсивным движением автотранспорта реконструкцию, ремонт и строительство канализационных сетей и коллекторов рекомендуется выполнять бестраншейными технологиями.

К наиболее эффективным из них относятся [9]:

- нанесение цементно-песчаных и полимерных покрытий на внутреннюю поверхность восстанавливаемого трубопровода;
- протаскивание нового трубопровода в поврежденный старый (с его предварительным разрушением или без разрушения) с помощью специальных устройств, например пневмопробойников;
- протаскивание гибкой (предварительно сжатой или сложенной U-образной формы) полимерной трубы внутрь старого трубопровода (метод «труба в трубе»);
- облицовка сегментами из полимерного материала;

– использование гибкого комбинированного рукава (чулка), позволяющего формировать новую композитную трубу внутри старой;

– использование спиралевидных (ленточных) покрытий, наносимых на внутреннюю поверхность старого трубопровода.

3. Разработка и использование в масштабах регионов научно обоснованной стратегии восстановления и обновления сетей.

Опыт эксплуатации и анализ зарубежных и отечественных исследований в области оценки надежности и планирования восстановления трубопроводных коммуникаций показали, что принцип работы, заключающийся в проведении ремонтно-восстановительных работ или реконструкции труб исключительно на аварийном участке, ведет к застою в области реконструкции сетей. Необходима научно обоснованная стратегия планирования их восстановления. Такая стратегия разработана НИИСФ совместно с АО «Мосводоканал» (Зоткин С.П., Орлов В.А., Примин О.Г. Оценка надежности и планирование восстановления водопроводных и водоотводящих трубопроводов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617532 от 26.06.2018. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ).

4. Использование автоматизированных систем и информационных технологий для проектирования и управления эксплуатацией сетей.

Специалистами НИИСФ и кафедры «Водоснабжение и водоотведение» МГСУ разработан алгоритм и автоматизированная методика сбора и статистической обработки эксплуатационных данных по надежности участков водопроводных трубопроводов. Это основа создания банка данных надежности водопроводных трубопроводов и его контроля. Разработаны и реализованы в ряде проектов гидравлические электронные модели для оптимизации функционирования сетей водоснабжения и водоотведения, их развития и реновации.

5. Использование стратегии снижения всех видов потерь воды.

Стратегия снижения потерь воды [10]: управление давлением; оптимизация работы системы транспорта воды; интенсификация аварийно-восстановительных и планово-профилактических работ; активный поиск и контроль за утечками; управление инфраструктурой – модернизация и реконструкция сети.

6. Разработка новых (актуализация существующих) нормативно-методических документов в водной отрасли.

Следует отметить, что в последние годы в водной отрасли России создается новое нормативно-правовое поле. Так, по плану Минстроя России НИИСФ актуализированы основные своды правил по проектированию наружного и внутреннего водопровода СП 30.13330 и СП 31.13330, а также СП 32.13330.2018 по канализации и ряд других документов. Дошла очередь и до раз-

работки нового, первого СП 517.1325800.2022 «Эксплуатация централизованных систем, сооружений водоснабжения и водоотведения».

Проблемы в области проектирования и эксплуатации систем водоотведения [11, 12]:

1. Формальное выполнение технических обследований очистных сооружений.

2. Отсутствие в стране национальной системы обсуждения и апробации новых технологий, а также баз данных по разработанным и реализованным проектам и независимого мониторинга их результатов.

3. Кризис компетенции подавляющего большинства базовых проектных институтов.

4. Система саморегулирования проектной отрасли практически не участвует в выработке технической политики.

5. Недостатки в системе тендеров и формирования начальной максимальной цены контракта.

6. Слабая вариантная технико-экономическая проработка и последующая разработка по ее результатам «Основных технических решений» (ОТР), конкретизирующих требования задания на проектирование.

7. Рекомендательный характер отраслевых сводов правил, направленных на использование оптимальных технологических решений.

Проблемы в области водоотведения характерны и для станций водоподготовки в части обеспечения барьерной роли очистных сооружений и их модернизации в условиях ужесточения требований к качеству питьевой воды.

Особо следует отметить проблемы состояния и развития системы сбора и отвода поверхностных сточных вод (ПСВ) в городах и поселениях России, в большинстве которых отсутствуют или не действуют (по причине большого износа сетей и сооружений) системы отведения и очистки поверхностных сточных вод. Это негативно сказывается на санитарно-экологическом состоянии природных водных объектов, приводит к подтоплениям территорий, объектов транспортной инфраструктуры.

В настоящее время в сфере проектирования и эксплуатации систем отведения и очистки поверхностных сточных вод поселений, городских округов существует ряд законодательно неурегулированных положений действующих нормативно-методических документов с положениями федеральных документов [13].

Требуют актуализации устаревшие климатические параметры 50-летней давности, *необходима разработка инженерных мероприятий по адаптации систем сбора и отведения ливневых вод к изменениям климата* [12]. *Необходима независимая инженерная сертификация локальных очистных сооружений проточного типа, так как практически все предлагаемые конструкции этих сооружений не соответствуют установленным нормам очистки ПСВ, однако имеют сертификаты их соответствия.*

Несколько соображений о состоянии науки и образования, в том числе и в водной отрасли. Если в СССР была статья расходов на науку, то в современном российском бюджете ее нет, так как траты на науку находятся на уровне статистической погрешности в 1%. Расходы на прикладные научные исследования в области решения проблем водного хозяйства за 10 лет снизились на 30% [14]. Это отразилось как на количестве, так и на качестве научных исследований и соответственно диссертаций в области водоснабжения и водоотведения, т. е. на подготовке кадров высшей квалификации. В вузах строительного профиля нет программы подготовки инженеров-технологов по водоснабжению и водоотведению, и как результат – дефицит квалифицированного персонала.

Полностью разрушена база научно-исследовательских профильных институтов. Один из немногих оставшихся в стране научно-исследовательских институтов в области строительства – НИИСФ РААСН. Для более активного решения проблем водного хозяйства РФ и усиления научного потенциала российских ученых и координации исследований и работ в НИИСФ РААСН создано отделение «Водоснабжение и водоотведение», в состав которого вошли известные специалисты в области систем водоснабжения и водоотведения.

Выводы

Водохозяйственный комплекс РФ нуждается в серьезной модернизации. Ответственным за безопасное водоснабжение и водоотведение населения должно быть государство, которое обязано оказывать поддержку из федерального бюджета субъекту РФ на развитие и модернизацию коммунальных трубопроводов через субсидии или адресные инвестиционные программы.

В условиях рыночной экономики основным звеном при разработке любых проектов и программ развития инженерных систем водопользования является финансово-экономический аудит и анализ предприятий водопроводно-канализационного хозяйства России, расчет долгосрочных экономических последствий реализации намечаемых проектов. Кроме того, любые социально ориентированные программы должны сопровождаться обязательными социальными исследованиями, позволяющими определять отношение общества к проектам, готовность его нести дополнительные расходы.

Для реализации принятых программ по развитию водной отрасли Российской Федерации необходимо предусматривать дополнительные инвестиции в науку, инновации и отечественное производство в водной отрасли, совершенствовать систему подготовки кадров, переоснащать лаборатории институтов, улучшать образовательные программы в соответствии с международными стандартами, интенсифицировать использование информационных и цифровых технологий.

Список литературы

1. Данилов-Данильян В.И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. М.: Институт устойчивого развития – Центр экологической политики России, 2019. 88 с.
2. Проскурякова Л.Н., Саритас О., Сиваев С.Б. Водохозяйственный комплекс: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. М.: НИУ ВШЭ, 2015. 84 с.
3. Демин А.П. Обеспечение питьевой водой населения России // *Водоочистка*. 2019. № 3.
4. Васильева М.В., Зинурова Р.Н. Эффективность реализации федеральной целевой программы «Обеспечение населения России питьевой водой» // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 14. С. 239–241.
5. Никонорова И.В., Соколов Н.С. Строительство и территориальное освоение оползнеопасных склонов Чебоксарского водохранилища // *Жилищное строительство*. 2017. № 9. С. 13–19.
6. Примин О.Г., Пупырев Е.И. Проблемы современного состояния систем водоснабжения и водоотведения в России // *Чистая вода: проблемы и решения*. 2012. № 3–4. С. 40–48.
7. Примин О.Г., Громов Г.Н. Надежность и экологическая безопасность водопроводных и водоотводящих трубопроводов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 4. С. 54–61. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.04.54-61
8. Sugawara N. Some economic effects and practices of water leakage control in Japan // *AQUA*. 2002. № 5.
9. Bromell R.Y. Pipes and pipelines. Design criteria and experience in the uses of various materials. *IWSA 11th Congress*. Amsterdam, 1999.
10. Примин О.Г. Утечки воды. М.: МГСУ–МИСИ, 2022. 168 с.
11. Данилович Д.Д. Кризис компетенции в проектировании очистных сооружений канализации: формы, последствия, пути преодоления // *Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения*. 2018. № 4. С. 5–13.
12. Харьковина О.В. Проблемы проектирования сооружений биологической очистки с удалением азота и фосфора // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2019. № 5. С. 7–12.
13. Верещагина Л.М., Худякова Д.Д., Громов Г.Н. Основные направления совершенствования технологических схем и конструкций установок для очистки поверхностных сточных вод // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2022. № 4. С. 27–34.
14. Волков С.Н., Лукьянчук М.Ю., Житенев А.И., Игнатчик В.С., Игнатчик С.Ю., Кузнецова Н.В., Сенюкович М.А. Методы и результаты оценки параметров расчетных дождей для систем водоотведения поверхностного стока Санкт-Петербурга // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2022. № 4. С. 17–24.

References

1. Danilov-Danilyan V.I. Vodnye resursy mira i perspektivy vodokhozyaistvennogo kompleksa Rossii [Water resources of the world and prospects of the water management complex of Russia]. Moscow: Institute of Sustainable Development – Center for Environmental Policy of Russia. 2019. 88 p.
2. Proskuryakova L.N., Saritas O., Sivaev S.B. Vodokhozyaistvennyi kompleks: global'nye vyzovy i dolgosrochnye tendentsii innovatsionnogo razvitiya [Water management complex: global challenges and long-term trends of innovative development]. Moscow: VHS. 2015. 84 p.
3. Demin A.P. Providing drinking water to the population of Russia. *Vodoochistka*. 2019. No. 3. (In Russian).
4. Vasilyeva M.V., Zinurova R.N. The effectiveness of the implementation of the Federal target program “Providing the population of Russia with drinking water”. *Vestnik of the Kazan Technological University*. 2013. Vol. 16. No. 14, pp. 239–241. (In Russian).
5. Nikonorova I.V., Sokolov N.S. Construction and territorial development of landslide slopes of the Cheboksary water reservoir. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 9, pp. 13–19. (In Russian).
6. Primin O.G., Pupyrev E.I. Problems of the current state of water supply and sanitation systems in Russia. *Chistaya voda: problemy i resheniya*. 2012. No. 3–4, pp. 40–48. (In Russian).
7. Primin O.G., Gromov G.N. Reliability and environmental safety of water and sewer pipelines. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2021. No. 4, pp. 54–61. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.04.54-61
8. Sugawara N. Some economic effects and practices of water leakage control in Japan. *AQUA*. 2002. No. 5.
9. Bromell R.Y. Pipes and pipelines. Design criteria and experience in the uses of various materials. *IWSA 11th Congress*. Amsterdam. 1999.
10. Primin O.G. Utechki vody [Water leaks]. Moscow: MGSU–MISI. 2022. 168 p.
11. Danilovich D.D. The crisis of competence in the design of sewage treatment plants: forms, consequences, ways to overcome. *Naилuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2018. No. 4, pp. 5–13. (In Russian).
12. Kharkina O.V. Problems of designing biological treatment facilities with nitrogen and phosphorus removal. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2019. No. 5, pp. 7–12. (In Russian).
13. Vereshchagina L.M., Khudyakova D.D., Gromov G.N. The main directions of improving technological schemes and designs of installations for surface wastewater treatment. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2022. No. 4, pp. 27–34. (In Russian).
14. Volkov S.N., Lukyanchuk M.Yu., Zhitenev A.I., Ignatchik V.S., Ignatchik S.Yu., Kuznetsova N.V., Senyukovich M.A. Methods and results of estimation of parameters of calculated rains for drainage systems of surface runoff of St. Petersburg. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2022. No. 4, pp. 17–24. (In Russian).

УДК 699.887.3:546.296

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-40-46>

В.И. РИМШИН^{1,2}, д-р техн. наук, профессор (v.rimshin@niisf.ru);
А.В. КАЛАЙДО^{1,3}, канд. техн. наук (kalaydo18@mail.ru);
М.Н. СЕМЕНОВА¹, ведущий инженер (lor267gg@yandex.ru);
О.В. ДАВЫСКИБА³, канд. пед. наук (davidovao@list.ru)

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

³ Луганский государственный педагогический университет (ЛГПУ) (291011, г. Луганск, ул. Оборонная, 2)

Расчет подземных ограждающих конструкций по критериям радоновой безопасности здания

Современный человек проводит основную часть жизни в зданиях, которые защищают его от неблагоприятных проявлений окружающей среды. Однако наряду с функцией защиты здания при определенных условиях способны сами накапливать вредные вещества в существенных количествах. Наиболее опасным из таких веществ является радиоактивный газ радон, концентрация которого незначительна в атмосферном воздухе, но может достигать больших значений в плохо проветриваемых помещениях нижних этажей зданий. В настоящее время радон в зданиях является общепризнанной во всем мире проблемой; каждая из технологически развитых стран с умеренным климатом реализует программы по снижению концентрации радона в воздухе помещений. Однако опасность для здоровья населения несет не сам радон, а его короткоживущие дочерние продукты распада: полоний-218, свинец-214 и висмут-214, на долю которых приходится более 90% дозы внутреннего облучения. Присутствие радона в зданиях автоматически обозначает и присутствие дочерних продуктов распада, которые являются тяжелыми металлами. Предложен метод проектирования горизонтальных подземных ограждающих конструкций, способных обеспечить благоприятную радоновую обстановку в здании при выполнении основных несущих функций, а также определены физико-механические параметры грунта, формирующие радоновую нагрузку на фундамент. С использованием предложенного метода оценены минимальные достаточные размеры плиты основания здания при различных удельных активностях грунта в основании и кратностях воздухообмена в помещении.

Ключевые слова: радон, плита основания, радоновая нагрузка, сопротивление радонопроницанию.

Для цитирования: Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Давыскиба О.В. Расчет подземных ограждающих конструкций по критериям радоновой безопасности здания // *Жилищное строительство*. 2023. № 7. С. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-40-46>

V.I. RIMSHIN^{1,2}, Doctor of Sciences (Engineering), Professor (v.rimshin@niisf.ru);

A.V. KALAYDO^{1,3}, Candidate of Sciences (Engineering) (kalaydo18@mail.ru);

M.N. SEMENOVA¹, Leading Engineer (lor267gg@yandex.ru); O.V. DAVYSKIBA³, Candidate of Sciences (Pedagogical)

¹ Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyi Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

² National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

³ Luhansk State Pedagogical University (LSPU) (2, Oboronnaya Street, Luhansk, 291011, Russian Federation)

Calculation of Underground Walling According to the Criteria of a Building Radon Safety

Modern man spends most of his life in buildings that protect him from adverse environmental manifestations. However, along with the function of protection, buildings under certain conditions are able to accumulate harmful substances in significant quantities. The most dangerous of these substances is the radioactive gas radon, the concentration of which is insignificant in the atmospheric air, but can reach high values in poorly ventilated rooms on the lower floors of buildings. Currently, radon in buildings is a globally recognized problem, each of the technologically developed countries with a temperate climate implements programs to reduce its radon concentration in indoor air. However, the danger to public health is not radon itself, but its short-lived progeny: polonium-218, lead-214 and bismuth-214, which account for more than 90% of the internal radiation dose. The presence of radon in buildings automatically indicates the presence of its progeny, which are heavy metals. The article proposes a method for designing horizontal underground enclosing structures that can provide a favorable radon environment in a building while performing the main load-bearing functions, and also determines the physical and mechanical parameters of the soil that form the radon load on the foundation. Using the proposed method, the minimum sufficient dimensions of the building base plate are estimated for various specific soil activities in the base and the multiplicities of air exchange in the room.

Keywords: radon, base slab, radon load, radon penetration resistance.

For citation: Rimshin V.I., Kalaido A.V., Semenova M.N., Davyskiba O.V. Calculation of underground walling according to the criteria of a building radon safety. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 7, pp. 40–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-40-46>

Современный человек проводит около 7 тыс. ч в год в зданиях, которые защищают его от неблагоприятных проявлений окружающей среды. Но наряду с функцией защиты человека здания при определенных условиях сами способны накапливать вредные вещества в существенных количествах. Наиболее опасным из таких веществ является радиоактивный газ радон, концентрация которого незначительна в атмосферном воздухе, но может достигать больших значений в плохо проветриваемых помещениях нижних этажей зданий.

Радон – единственный в природе радиоактивный элемент, который находится в газообразном состоянии при нормальных условиях. Этот радиоактивный одноатомный газ без цвета и запаха считается одним из наименее распространенных элементов на Земле, он образуется во всех трех радиоактивных семействах и не имеет стабильных изотопов. Известно три естественных изотопа радона: ^{222}Rn (радон), ^{220}Rn (торон) и ^{219}Rn (актинон), все они образуются в грунте при распаде материнского радия. Но с точки зрения радиационной безопасности строительства практический интерес представляет только наиболее долгоживущий изотоп – радон-222, образующийся в семействе урана-238 при альфа-распаде радия-226 (рис. 1). Благодаря большому периоду полураспада он способен мигрировать на значительные расстояния, тогда как два остальных изотопа (торон и актинон) имеют периоды полураспада меньше минуты и поэтому не могут проникать в здания извне.

В настоящее время радон в зданиях является общепризнанной во всем мире проблемой [1–5], каждая из технологически развитых стран с умеренным климатом реализует программы по снижению его концентрации в воздухе помещений [5–12]. Однако опасность для здоровья населения несет не сам радон, а его короткоживущие дочерние продукты распада (ДПР) – полоний-218, свинец-214 и висмут-214 (рис. 1, выделены), на долю которых приходится более 90% дозы внутреннего облучения [13–19]. Присутствие радона в зданиях автоматически обозначает и присутствие его ДПР, которые являются тяжелыми металлами [20–24].

Продукты распада радона образуются в виде положительных (часто многозарядных) ионов, которые захватываются примесями воздуха и парами воды, образуя наноразмерные кластеры, или присоединяются к аэрозольным частицам. Значительная часть кластеров и аэрозолей осаждается в дыхательных путях легких и, не успевая вывестись из-за малого периода полураспада, формирует дозу внутреннего облучения [1, 2].

Поскольку вред здоровью в основном наносят ДПР радона, то и концентрацию радона в зданиях

принято характеризовать эквивалентной равновесной объемной активностью (ЭРОА) дочерних продуктов распада радона. Именно ЭРОА является нормируемой величиной в РФ, ее значение не должно превышать 200 Бк/м^3 в существующих зданиях и 100 Бк/м^3 в зданиях, построенных по современным технологиям (Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523–09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный № 14534). Однако данные значения лишь обозначают условно безопасные уровни, и при введении зданий в эксплуатацию следует по возможности стремиться к минимизации значения среднегодовой ЭРОА радона (НРБ-99/2009).

Радон практически не образуется в зданиях, он в основном поступает в них из грунтового основания [8, 9]. Поэтому для нормализации внутренней радоновой обстановки необходимо максимально перекрыть пути переноса радона из грунта в помещения нижнего этажа. Делается это средствами строительства, а именно герметизацией подземной оболочки здания. Но полностью исключить поступление радона невозможно, так как он способен диффундировать в материалах ограждающей конструкции и скорость диффузии достаточна, чтобы пройти сквозь плиту основания за время его жизни.

Задача обеспечения радоновой безопасности здания на стадии проектирования сводится к разработке инженерного метода расчета подземных ограждающих конструкций. Необходимо, исходя из радиационных характеристик грунта, определить минимальную достаточную толщину плиты основания, при которой будет обеспечено приемлемое значение ЭРОА после введения здания в эксплуатацию. Под приемлемым значением мы понимаем не более 100 Бк/м^3 для помещений с длительным пребыванием людей и $50\text{--}60 \text{ Бк/м}^3$ для помещений лечебных и учебных заведений.

Критерием радоноопасности участка строительства в РФ выступает плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта (НРБ-99/2009), однако недостатки данной величины в настоящее время широко известны. Наиболее полно они отражены в работах Л.А. Гулабянца, П.С. Микляева и др. [3–7], поэтому не вызывает сомнений целесообразность поиска альтернативных радиационных характеристик участка планируемого строительства.

В настоящем методе расчета в качестве критерия радоноопасности территории застройки выступает радоновая нагрузка на подземную оболочку здания Π_{Rn} .

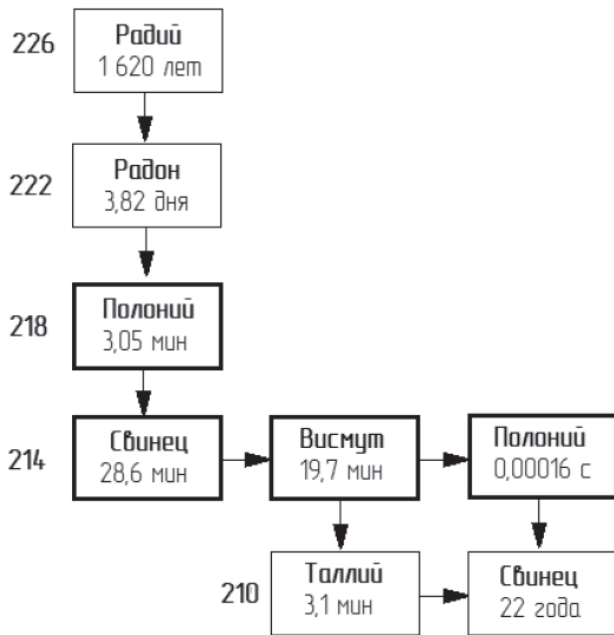


Рис. 1. Схема образования и распада радона-222
Fig. 1. Scheme of the formation and decay of radon-222

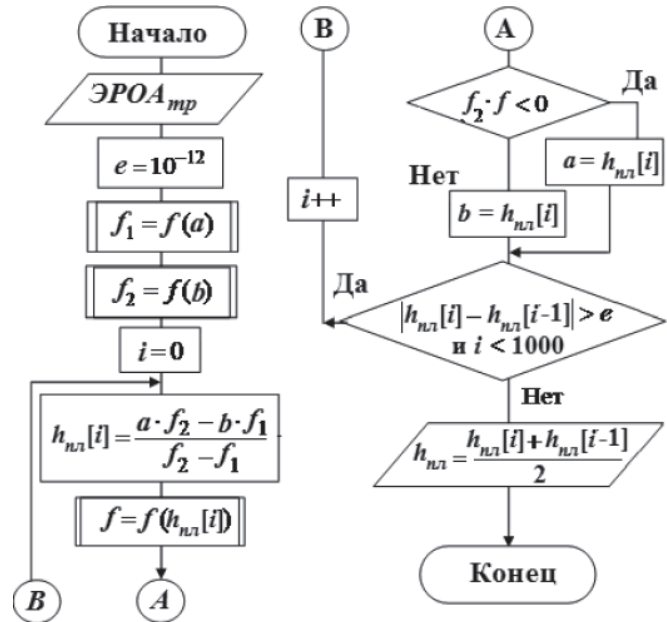


Рис. 2. Алгоритм метода секущих для нахождения корней уравнения (6)
Fig. 2. Algorithm of the secant method for finding the roots of equation (6)

Под данной величиной понимается максимальная объемная активность радона в почвенном воздухе, которая достигается на глубине 3–7 м в зависимости от воздухопроницаемости грунта. Радоновую нагрузку на фундамент рассчитывают по результатам лабораторного анализа грунта с участка планируемого строительства по формуле:

$$P_{Rn} = C_{гр} \cdot k_{эм} \cdot \rho_{гр}, \quad (1)$$

где $C_{гр}$ – удельная активность радия в грунте, Бк/кг; $k_{эм}$ – коэффициент эманирования радона грунтом; $\rho_{гр}$ – плотность грунта, кг/м³.

Радонозащитные свойства подземной оболочки здания описывает сопротивление радонопроницанию – физическая величина, которая характеризует способность материала ограждающей конструкции препятствовать диффузии радона. Сопротивление радонопроницанию определяется расчетным путем по формуле:

$$R = 1,3 \cdot \frac{P_{Rn}}{q_{гр}}, \quad (2)$$

где $q_{гр}$ – плотность потока радона из грунта в здание, Бк/(м²·с).

В (2) множитель перед дробью представляет собой коэффициент запаса, учитывающий образование радона в материалах ограждающих конструкций и наличие трещин в плите основания. С другой стороны, сопротивление радонопроницанию конструкции пола, в предположении чисто диффузионного механизма переноса радона в пористых средах, мо-

жет быть выражено через толщину бетонной плиты основания $h_{пл}$:

$$R = \frac{1}{\sqrt{\lambda \cdot D_6}} \cdot sh \left(h_{пл} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_6}} \right), \quad (3)$$

где $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ – постоянная распада радона; $D_6 = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ – коэффициент диффузии радона в бетоне.

Объемная активность радона в почвенном воздухе в тысячи раз выше, чем в воздухе помещений, поэтому концентрационная диффузия будет иметь место независимо от конструкции и радонозащитных характеристик подземной оболочки. Плотность потока радона из грунта сквозь плиту основания связана с ЭРОА радона в воздухе здания после его введения в эксплуатацию соотношением:

$$\begin{aligned} \text{ЭРОА}_{гр} &= \frac{q_{гр} \cdot S_{пол}}{V \cdot (\lambda + n)} \cdot F = \frac{q_{гр} \cdot S_{пол}}{S_{пол} \cdot H \cdot (\lambda + n)} \cdot F = \frac{q_{гр} \cdot F}{H \cdot (\lambda + n)} \Rightarrow \\ &\Rightarrow q_{гр} = \frac{\text{ЭРОА}_{гр} \cdot H \cdot (\lambda + n)}{F}, \end{aligned} \quad (4)$$

где H – высота помещения, м; n – кратность воздухообмена, с⁻¹; $F=0,4 \dots 0,5$ – коэффициент сдвига радиоактивного равновесия.

Подставив в (2) остальные выражения и перенеся в разные стороны основные величины $h_{пл}$ и $\text{ЭРОА}_{гр}$, мы получим следующую формулу:

$$sh \left(h_{пл} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_6}} \right) = \frac{1,3 F \cdot \sqrt{\lambda \cdot D_6} \cdot C_{гр} \cdot k_{эм} \cdot \rho_{гр}}{\text{ЭРОА}_{гр} \cdot H \cdot (\lambda + n)}, \quad (5)$$

которая в общем виде может быть представлена как:

$$h_{пл} = f(\text{ЭРОА}_{тр}).$$

Формула (5) позволяет определить минимальную достаточную толщину плиты основания $h_{пл}$, при которой будет обеспечена требуемая ЭРОА в здании. Выражение из формулы (5) толщины плиты $h_{пл}$ основания в явном виде имеет определенные вычислительные сложности, поэтому лучше использовать итерационный численный метод. Для этого в (5) гиперболический синус переносим в правую часть и получаем нелинейную функцию:

$$f(h_{пл}) = -sh \left(h_{пл} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{D_б}} \right) + \frac{1,3F \cdot \sqrt{\lambda \cdot D_б} \cdot C_{гр} \cdot k_{эм} \cdot \rho_{гр}}{\text{ЭРОА}_{тр} \cdot H \cdot (\lambda + n)}, \quad (6)$$

непрерывную вблизи искомого корня $h_{пл}$.

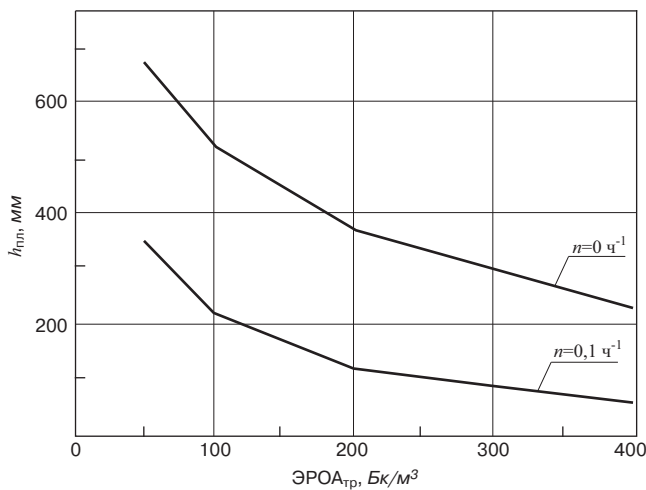


Рис. 3. Зависимость $h_{пл} = f(\text{ЭРОА})$ при следующих расчетных параметрах: $F=0,4$; $\lambda=2,1 \cdot 10^{-6}$ с; $D_б=1,1 \cdot 10^{-7}$ м²/с (бетон); $C_{гр}=25$ Бк/кг; $k_{эм}=0,3$; $\rho_{гр}=1600$ кг/м³; $H=3$ м

Fig. 3. Dependence $h_{пл} = f(\text{ЭРОА})$ with the following design parameters: $F=0,4$; $\lambda=2,1 \cdot 10^{-6}$ s; $D_б=1,1 \cdot 10^{-7}$ m²/s (concrete); $C_{гр}=25$ Bq/kg; $k_{эм}=0,3$; $\rho_{гр}=1600$ kg/m³; $H=3$ m

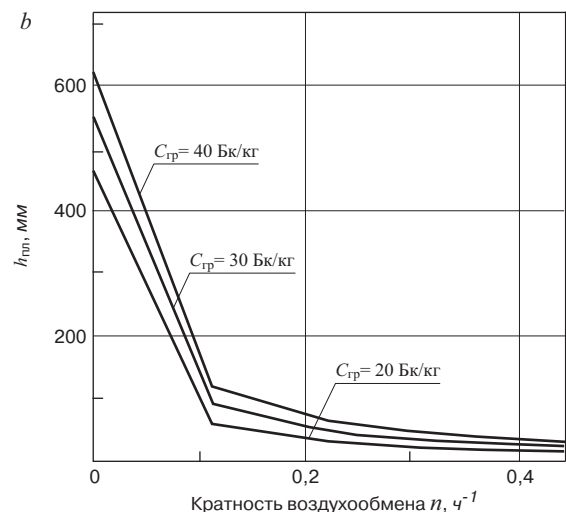
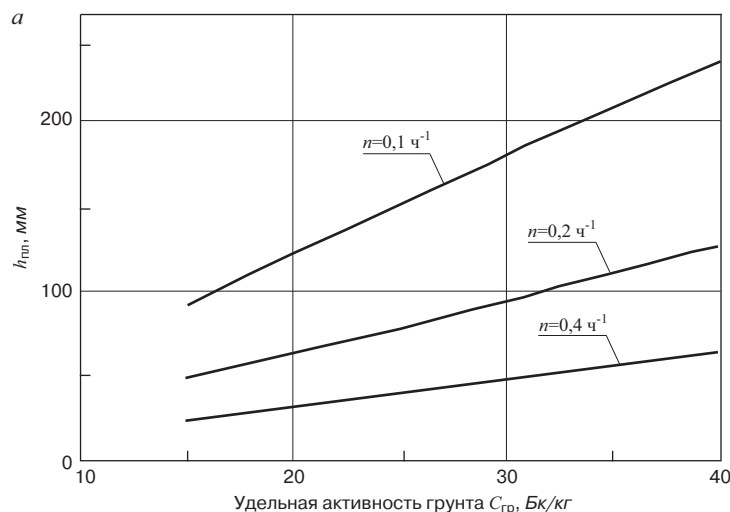


Рис. 4. Зависимости толщины плиты фундамента $h_{пл}$ от факторов формирования радоновой обстановки в здании: а – удельной активности радия в грунте; б – кратности воздухообмена в здании

Fig. 4. Dependences of the thickness of the foundation slab $h_{пл}$ on the factors of formation of the radon environment in the building: а – the specific activity of radium in the soil; б – air exchange rates in the building

Суть определения необходимой толщины бетонной плиты основания из (6) состоит в следующем: задается требуемая активность радона в здании после введения его в эксплуатацию ЭРОА_{тр}, после чего численным методом осуществляется подбор толщины плиты $h_{пл}$, при котором будет иметь место данная ЭРОА. По теореме Больцано–Коши, если функция $f(x)$ непрерывна на $[a; b]$ и $f(a) \cdot f(b) < 0$, то $\exists h_{пл} \in (a; b) : f(h_{пл}) = 0$. Корень $h_{пл}$ отделяется путем задания некоторых граничных значений толщины плиты, в нашем случае минимального $a=10$ мм и максимального $b=1000$ мм, не реализуемых в строительной практике. Для уточнения искомого корня в (6) используется метод секущих, на рис. 2 представлены основные блоки алгоритма вычисления.

Подпрограмма f вычисляет значение $f(h_{пл})$ по формуле (6); ϵ – наперед заданная погрешность вычисления, а ограничение на количество итераций ($I < 1000$) предотвращает зависание алгоритма.

На рис. 3 показан пример расчета минимальной достаточной толщины бетонной плиты основания в зависимости от требуемой величины ЭРОА в здании после введения его в эксплуатацию. В качестве реперных точек приняты значения ЭРОА в 50, 100, 200 и 400 Бк/м³; последнее представляет уровень вмешательства в санитарном законодательстве РФ (НРБ-99/2009).

Как видно из рис. 3, в «закрытых» помещениях ($n=0$) обеспечение благоприятной радоновой ситуации исключительно за счет герметизации подземной оболочки здания невозможно. Так, для непревышения значения среднегодовой ЭРОА в 100 Бк/м³ потребуется неприемлемая толщина фундаментной плиты в 500 мм даже при консервативном значении удельной активности радия $C_{гр}=25$ Бк/кг. В подобном

случае рекомендуется введение в конструкцию пола дополнительного битумно-полимерного слоя с высоким сопротивлением радонопроницанию.

Однако в режиме реальной эксплуатации здания воздухообмен все же имеет место и даже его минимальная кратность существенно стабилизирует радоновую обстановку в здании (нижняя кривая на рис. 3).

Некоторые величины, входящие в правую часть (5), могут изменяться в достаточно широких пределах в зависимости от типа подстилающих грунтов и условий эксплуатации здания. Поэтому представляет практический интерес оценка направленности и значимости влияния этих факторов на радоновую обстановку в здании.

На рис. 4, а показаны результаты исследования зависимости толщины бетонной плиты фундамента от радиационных характеристик грунта в основании здания для различных условий воздухообмена. Как видно из данного графика, приемлемая радоновая ситуация в здании может быть обеспечена однослойной конструкцией пола (бетонная плита) даже на грунтах с достаточно высоким содержанием естественных радионуклидов ($C_{гр}=40$ Бк/кг).

На рис. 4, б представлена обратная задача – исследование зависимости толщины бетонной плиты фундамента от кратности воздухообмена в помещении при разных удельных активностях подстилающих грунтов. Полученные результаты подтверждают ключевую роль правильно организованного воздухообмена в нормализации радоновой обстановки в

здании: при минимальном допустимом воздухообмене в помещениях жилых зданий $n=0,35$ ч⁻¹ (согласно СП 54.13330 и СП 60.13330) необходимая толщина плиты основания не превышает 50 мм. Таким образом, при любой толщине фундаментной плиты, определенной по критериям несущей способности, будет обеспечено не превышение контрольных уровней ЭРОА даже на грунтах с повышенным содержанием радия. Данные результаты подтверждают принципиальную возможность обеспечения радонобезопасности зданий посредством исключительно пассивных технологий радонозащиты, не использующих технически сложные системы удаления радона из почвенного воздуха или из помещений.

Выводы

Предложенный инженерный метод расчета позволяет не только определить минимальную достаточную толщину плиты основания, при которой будет обеспечена благоприятная радоновая ситуация в здании, но и дает возможность провести численное исследование многофакторного процесса формирования радоновой обстановки в здании. Использование данного метода позволит исключить введение в эксплуатацию зданий с недостаточной или существенно избыточной радонозащитной способностью, а также обосновать стратегию нормализации радоновой обстановки в уже эксплуатируемых зданиях с повышенным содержанием радона и его продуктов распада.

Список литературы

1. Гулабянц Л.А., Калайдо А.В. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2020. 232 с.
2. Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Борщ В.А. Строительные технологии обеспечения радонобезопасности зданий // *Строительные материалы*. 2023. № 6. С. 33–38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-814-6-33-38>
3. Гулабянц Л.А. Казусы нормативно-методического обеспечения радиационной безопасности зданий // *Жилищное строительство*. 2010. № 5. С. 63.
4. Гулабянц Л.А. Принцип построения новых норм проектирования противорадоновой защиты зданий // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 5. С. 461–467.
5. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Дорожко А.Л., Макеев В.М. Принципы оценки потенциальной радоноопасности территорий на предпроектных этапах строительства. *Материалы годичной сессии На-*

References

1. Gulabyants L.A., Kalaido A.V. Protivoradonovaya zashchita zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Anti-tornado protection of residential and public buildings]. Moscow; Berlin: Direct-Media. 2020. 232 p.
2. Rimshin V.I., Kalaido A.V., Semenova M.N., Borsch V.A. Construction technologies for ensuring radon safety of buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2023. No. 6, pp. 33–38. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-814-6-33-38>
3. Gulabyants L. A. Incidents of normative and methodological provision of radiation safety of buildings. *Zhilyshchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2010. No. 5, pp. 63–65. (In Russian).
4. Gulabyants L. A. The principle of constructing new standards for designing anti-radiation protection of buildings. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2009. No. 5, pp. 461–467. (In Russian).
5. Miklyaev P.S., Petrova T.B., Dorozhko A.L., Makeev V.M. Principles of assessing the potential radon

- учного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. 2012. С. 350–355.
6. Микляев П.С., Петрова Т.Б. Проблемы оценки и картирования геогенного радонового потенциала. *Материалы X Международной научно-практической конференции по проблемам снижения природных опасностей и рисков*. 2018. С. 87–92.
 7. Микляев П.С., Петрова Т.Б. Механизмы формирования потока радона с поверхности почв и подходы к оценке радоноопасности селитебных территорий // *АНРИ: Аппаратура и новости радиационных измерений*. 2007. № 2. С. 2–17.
 8. Ярмошенко И.В. Радон как фактор облучения населения России // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2017. № 2 (18). С. 108–116.
 9. Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н. Оценка вкладов диффузионного и конвективного поступления радона в здания // *Жилищное строительство*. 2021. № 7. С. 48–54. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-48-53>
 10. Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н. Обеспечение приемлемых уровней облучения радона в зданиях пассивными радонозащитными технологиями // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2021. № 6 (1042). С. 20–22.
 11. Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н., Быков Г.С. Пассивные технологии обеспечения радоновой безопасности воздушной среды проектируемых зданий // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Материалы. Конструкции. Технологии*. 2021. № 1. С. 28–35.
 12. Римшин В.И., Шубин Л.И., Савко А.В. Ресурс силового сопротивления железобетонных конструкций инженерных сооружений // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 5. С. 483–491.
 13. Рощина С.И., Римшин В.И. Расчет деформаций изгибаемых армированных деревянных элементов с учетом ползучести // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2011. № 1 (34). С. 121–124.
 14. Ларионов Е.А., Римшин В.И., Василькова Н.Т. Энергетический метод оценки устойчивости сжатых железобетонных элементов // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2012. № 2. С. 77–81.
 15. Шубин И.Л., Бакаева Н.В., Калайдо А.В., Скринникова А.В. Ограничение поступления радона из грунта в здание посредством технологий строительства территорий на предпроектных стадиях строительства. *Материалы ежегодной сессии Научного совета Российской Академии наук по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии*. 2012, pp. 350–355. (In Russian).
 6. Miklyaev P.S., Petrova T.B. Problems of assessment and mapping of geogenic radon potential. *Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference on problems of reducing natural hazards and risks*. 2018, pp. 87–92. (In Russian).
 7. Miklyaev P.S., Petrova T.B. Mechanisms of radon flux formation from the soil surface and approaches to assessing the radon hazard of residential territories. *ANRI: Apparatura i novosti radiatsionnykh izmereniy*. 2007. No. 2 (42), pp. 2–17. (In Russian).
 8. Yarmoshenko I. V. Radon as a factor of irradiation of the Russian population. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii*. 2017. No. 2 (18), pp. 108–116. (In Russian).
 9. Kalaydo A.V., Rimshin V.I., Semenova M.N. Assessment of the contributions of diffusive and convective radon entry into the buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2021. No. 7, pp. 48–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-48-53>
 10. Kalaido A.V., Rimshin V.I., Semenova M.N. Ensuring acceptable levels of radon irradiation in buildings with passive radon-protective technologies. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki*. 2021. No. 6 (1042), pp. 20–22. (In Russian).
 11. Kalaido A.V., Rimshin V.I., Semenova M.N., Bykov G.S. Passive technologies for ensuring radon safety of the air environment of projected buildings. *Vestnik of Volga State Technological University. Series. Materials. Constructions. Technologies*. 2021. No. 1, pp. 28–35. (In Russian).
 12. Rimshin V.I., Shubin L.I., Savko A.V. Resource of force resistance of reinforced concrete structures of engineering structures. *Academia. Architectura i stroitel'stvo*. 2009. No. 5, pp. 483–491. (In Russian).
 13. Roshchina S.I., Rimshin V.I. Calculation of deformations of bent reinforced wooden elements taking into account creep. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. No. 1 (34), pp. 121–124. (In Russian).
 14. Larionov E.A., Rimshin V.I., Vasilkova N.T. Energy method for assessing the stability of compressed reinforced concrete elements. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktсий i sooruzhenii*. 2012. No. 2, pp. 77–81. (In Russian).
 15. Shubin I.L., Bakaeva N.V., Kalaydo A.V., Skrynnikova A.V. Limitation of radon inflow from the soil into the building due to construction technologies. *Stroi-*

- ительства // *Строительные материалы*. 2019. № 6. С. 62–66. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-62-66>
16. Римшин В.И., Кустикова Ю.О. Теоретические основы расчета сцепления стеклобазальтопластиковой арматуры с бетоном // *Известия Орловского государственного технического университета. Сер. Строительство и транспорт*. 2009. № 2–22. С. 29–33.
17. Римшин В.И., Бикбов Р.Х., Кустикова Ю.О. Некоторые элементы усиления строительных конструкций композиционными материалами // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2005. № 10. С. 381–383.
18. Римшин В.И., Галубка А.И., Синютин А.В. Инженерный метод расчета усиления железобетонных плит покрытия композитной арматурой // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014. № 3. С. 218–220.
19. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13, pp. 3851–3856.
20. Kuzina E., Cherkas A., Rimshin V. Technical aspects of using composite materials for strengthening constructions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 365. Iss. 3. DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032053
21. Karpenko N.I., Eryshev V.A., Rimshin V.I. The limiting values of moments and deformations ratio in strength calculations using specified material diagrams. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 463. Iss. 3. DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032024
22. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523.
23. Telichenko V., Rimshin V., Ereemeev V., Kurbatov V. Mathematical modeling of groundwaters pressure distribution in the underground structures by cylindrical form zone B. *MATEC Web Conf. XXVII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP) (TFoCE 2018)*. 2018. Vol. 196. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819602025>
24. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13, pp. 3851–3856.
25. *tel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2019. No. 6, pp. 62–66. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-62-66>
16. Rimshin V.I., Kustikova Yu.O. Theoretical foundations for calculating the adhesion of glass-basalt-plastic reinforcement with concrete. *Izvestiya of the Oryol State Technical University. Series Construction and transport*. 2009. No. 2–22, pp. 29–33. (In Russian).
17. Rimshin V.I., Bikbov R.H., Kustikova Yu.O. Some elements of reinforcement of building structures with composite materials. *Vestnik of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2005. No. 10, pp. 381–383. (In Russian).
18. Rimshin V.I., Galubka A.I., Sinyutin A.V. Engineering method for calculating reinforcement of reinforced concrete slabs with composite reinforcement. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2014. No. 3, pp. 218–220. (In Russian).
19. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13, pp. 3851–3856.
20. Kuzina E., Cherkas A., Rimshin V. Technical aspects of using composite materials for strengthening constructions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 365. Iss. 3. DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032053
21. Karpenko N.I., Eryshev V.A., Rimshin V.I. The limiting values of moments and deformations ratio in strength calculations using specified material diagrams. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 463. Iss. 3. DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032024
22. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem. *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523.
23. Telichenko V., Rimshin V., Ereemeev V., Kurbatov V. Mathematical modeling of groundwaters pressure distribution in the underground structures by cylindrical form zone B. *MATEC Web Conf. XXVII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP) (TFoCE 2018)*. 2018. Vol. 196. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819602025>
24. Rimshin V.I., Labudin B.V., Melekhov V.I., Orlov A., Kurbatov V.L. Improvement of strength and stiffness of components of main struts with foundation in wooden frame buildings. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13, pp. 3851–3856.

УДК 628.921

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-47-51>

И.А. ШМАРОВ, канд. техн. наук (shmarovigor@yandex.ru),
В.В. ЗЕМЦОВ, инженер (zemcov-v@yandex.ru)

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Методика расчета яркости фасадов зданий при локальном архитектурном освещении

Рассматривается методика расчета яркости фасадов зданий при локальном архитектурном освещении. Локальное освещение фасадов зданий представляет собой выделение светом декоративных архитектурных элементов, простенков между окнами, отдельных площадок. Главной целью такого освещения является привлечение внимания к архитектурной отделке фасада здания и формирование благоприятного зрительного восприятия здания в темное время суток. Для локального светодиодного архитектурного освещения характерно малое потребление электроэнергии и низкая равномерность распределения яркости по фасаду здания. Данные особенности требуют иных подходов к нормированию равномерности распределения яркости по фасаду здания. Предложена методика расчета распределения яркости для локального архитектурного освещения, реализуемая с помощью офисных программ по типу Excel. Методика использует свойства симметрии распределения светового потока от излучателя в пространстве. Распределение яркости (освещенности) по фасаду представляется программой в виде изолиний яркости (освещенности) на выделяемой светом площадке фасада. Использование данной методики позволяет без применения сложных компьютерных программ рассчитать яркость и ее распределение по фасаду здания, подобрать нужную мощность осветительного прибора для обеспечения нормируемой яркости фасада.

Ключевые слова: архитектурное освещение, фасады зданий, искусственное освещение, фотометрический файл, осветительный прибор.

Для цитирования: Шмаров И.А., Земцов В.В. Методика расчета яркости фасадов зданий при локальном архитектурном освещении // *Жилищное строительство*. 2023. № 7. С. 47–51.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-47-51>

I.A. SHMAROV, Candidate of Sciences (Engineering) (shmarovigor@yandex.ru),
V.V. ZEMTSOV, Engineer (zemcov-v@yandex.ru)

Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Methodology for Calculating the Brightness of Building Facades under Local Architectural Lighting

The article discusses the method of calculating the brightness of building facades under local architectural lighting. Local lighting of facades of buildings is the allocation of decorative architectural elements, piers between windows, individual sites by light. The main purpose of such lighting is to attract attention to the architectural decoration of the facade of the building and the formation of a favorable visual perception of the building in the dark time of the day. Local LED architectural lighting is characterized by low power consumption and low uniformity of brightness distribution along the facade of the building. These features require different approaches to normalizing the uniformity of the brightness distribution along the facade of the building. A method for calculating the brightness distribution for local architectural lighting, implemented using office programs like Excel, is proposed. The technique uses the properties of the symmetry of the distribution of the light flux from the emitter in space. The distribution of brightness (illumination) along the facade is represented by the program in the form of brightness (illumination) isolines on the facade area allocated by light. The use of this technique makes it possible, without the use of complex computer programs, to calculate the brightness and its distribution along the facade of the building, to select the necessary power of the lighting device to ensure the normalized brightness of the facade

Keywords: architectural lighting, building facades, artificial lighting, photometric file, lighting device.

For citation: Shmarov I.A., Zemtsov V.V. Methodology for calculating the brightness of building facades under local architectural lighting. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 7, pp. 47–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-47-51>

В последнее время в связи с развитием светодиодных технологий широкое распространение в архитектурном освещении зданий получило локальное архитектурное освещение фасадов [1–9]. Согласно СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» локальное архитектурное освещение

представляет собой освещение части здания или сооружения, а также отдельных архитектурных элементов при отсутствии заливающего освещения.

Локальное освещение фасадов зданий является более экономичным по сравнению с заливающим освещением фасадов [6], а также обеспечивает луч-

шую художественную выразительность и создает широкие возможности для светового дизайна.

Яркость $L_{ср}$ и равномерность распределения яркости U_0 локального архитектурного освещения предлагается оценивать по трем точкам, расположенным по границе выделяемой светом площадки, наиболее удаленной от осветительного прибора, как показано на рис. 1.

В освещенности поверхности фасада отраженная составляющая от прилегающего окружения очень мала по сравнению с прямой освещенностью и может не учитываться при расчете освещенности фасадов.

Ввиду сферической симметрии физического процесса наиболее общие закономерности получаются при описании ориентации расчетной плоскости в сферической системе координат [10]. Примем стандартные обозначения углов в сферической системе координат $O'r\theta\phi$, центр которой находится в расчетной точке (полярного θ и азимутального ϕ), как показано на рис. 2. Случай $\theta=0^\circ$ относится к горизонтально расположенной плоскости. Случай $\theta=90^\circ$ относится к семейству вертикальных плоскостей, ориентированных азимутальным углом ϕ .

Первоначально рассчитывается условная освещенность e_i . Число осветительных приборов i может принимать значения от 1 до N . Условно принимается суммарный световой поток осветительного прибора

равным 1000 люмен. Если обозначения расстояний и углов, определяющих взаимное расположение осветительного прибора и расчетных точек на фасаде, в пространстве принять согласно рис. 3, то расчет условной освещенности ведется по формуле:

$$e_i = \sum_{j=1}^N I_j(\alpha_j\beta_j) \cos \xi_j / r_j^2, \quad (1)$$

где $I_j(\alpha_j\beta_j)$ – сила света осветительного прибора в направлении к точке расчета, определяемая меридиональным углом α_j и азимутальным углом β_j ; r_j – расстояние от оптического центра i -го осветительного прибора до расчетной плоскости; ξ_j – угол между лучом, падающим в i -ю расчетную точку из оптического центра осветительного прибора, и нормалью к расчетной плоскости в данной точке.

На данном этапе значения удобно использовать офисные программы типа Excel и вносить в них при последующих расчетах формулы, как показано на рис. 4.

Косинус угла ξ_j и r_j в общем случае определяются по формулам:

$$\cos \xi_i = \frac{x_i \sin \theta \cos \phi + y_i \sin \theta \sin \phi + z_i \cos \theta}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}}; \quad (2)$$

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}. \quad (3)$$

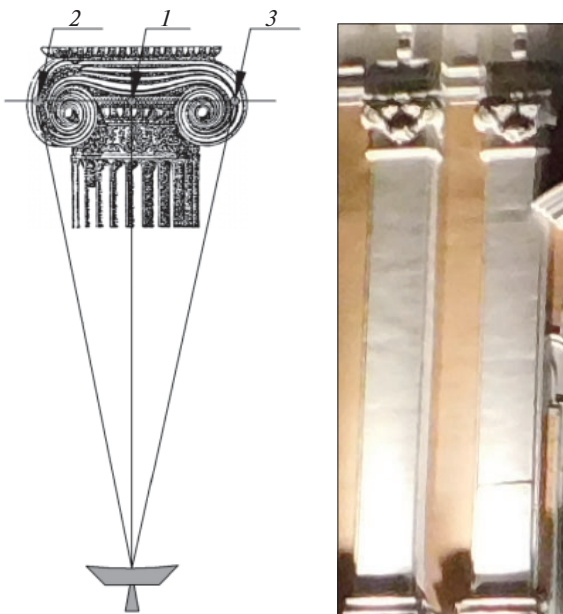


Рис. 1. Расположение контрольных точек на фасаде здания при локальном освещении: 1–3 – контрольные точки расчета и измерения яркости

Fig. 1. Location of control points on the facade of the building under local lighting: 1–3 – control points for calculating and measuring brightness

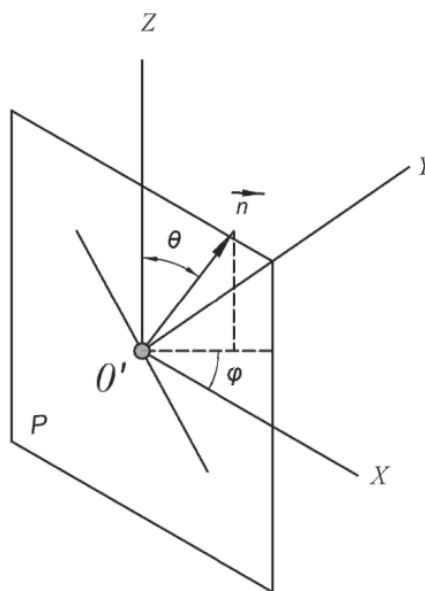


Рис. 2. Аксонометрическое изображение плоскости P , на которой нормируется и рассчитывается яркость (освещенность) в пространстве в декартовой и сферической системах координат

Fig. 2. Axonometric image of the plane P , on which the brightness (illumination) in space is normalized and calculated in Cartesian and spherical coordinate systems

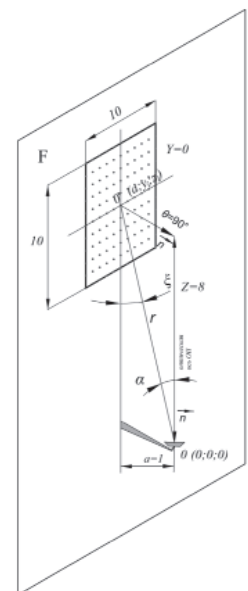


Рис. 3. Взаимное расположение осветительного прибора и расчетных точек на фасаде здания при локальном освещении

Fig. 3. The relative position of the lighting device and the design points on the facade of the building under local lighting

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3						
4	Ii(αiβi)=	264	ei=			
5	δ=	0	yi=	0		
6	αi=		zi=	6		
7	βi=		a=	2		
8			Ii(αiβi)=	264		
9						
10						

Рис. 4. Пример заполнения ячеек в программе Excel измеренных и заданных значений для расчета

Fig. 4. An example of filling cells in the Excel program measured and set values for calculation

При расположении расчетной точки на фасаде она будет иметь координаты $(-a, y_i, z_i)$. Угол для вертикально расположенного фасада $\theta=90^\circ$. Формулы для косинуса угла ξ_j и r_i примут вид:

$$\cos \xi_i = \frac{z_i}{\sqrt{a^2 + y_i^2 + z_i^2}}; \quad (4)$$

$$r_i = \sqrt{a^2 + y_i^2 + z_i^2}. \quad (5)$$

В зависимости от меридионального угла α_i и азимутального угла β_i значения силы света $I_j(\alpha_j, \beta_j)$ определяются исходя из паспортных данных осветительного прибора, которые могут быть представлены таблицей, графиком, формулой, фотометрическим файлом в форматах *ies* или *ldt*. В рассматриваемом случае локального фасадного освещения:

$$\alpha_i = \xi_i = \arccos\left(\frac{z_i}{\sqrt{a^2 + y_i^2 + z_i^2}}\right); \quad (6)$$

$$\beta_i = \arccos\left(\frac{-a}{\sqrt{a^2 + y_i^2}}\right). \quad (7)$$

В зависимости от меридионального угла α_i и азимутального угла β_i значения силы света $I_j(\alpha_j, \beta_j)$ определяются исходя из паспортных данных осветительного прибора, которые могут быть представлены таблицей, графиком, формулой или фотометриче-

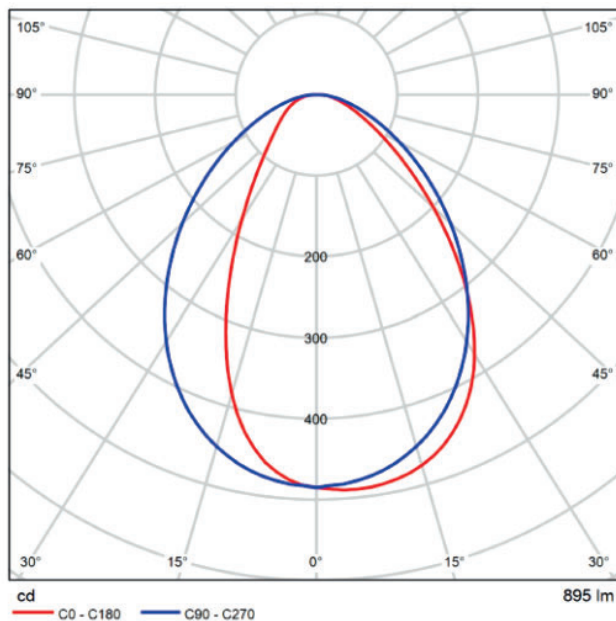


Рис. 5. Пример кривых силы света осветительного прибора во взаимно перпендикулярных плоскостях

Fig. 5. An example of the light intensity curves of a lighting device in mutually perpendicular planes

ским файлом в форматах *ies* или *ldt*. На рис. 5 представлены кривые силы света осветительного прибора, используемого в рассматриваемом случае для локального фасадного освещения.

Расчет выполняется для всех точек контрольной сетки, рассчитанные числовые значения формируются в сводную таблицу. В программе Excel данные вносятся автоматически.

Расчет выполняется для всех точек контрольной сетки. Числовые значения вносятся в таблицу.

В целях рационального использования светового потока оптическую ось осветительного прибора наклоняют в сторону фасада на угол δ . В этом случае формула (1) принимает вид:

$$e_i = I_i(\alpha_i \pm \delta, \beta_i) \cos \xi_i / r_i^2. \quad (8)$$

При размещении осветительного прибора при локальном освещении на фасаде знак плюс в форму-

	A	B	C	Вставить функцию E	F	G	H	I	J	K
1										
2										
3										
4	Ii(αiβi)=	264	ei=	8,0						
5	δ=	0	yi=	0						
6	αi=	15,9	zi=	5						
7	βi=	180	a=	2						
8			Ii(αiβi)=	247						
9										

$$e_i = I_i(\alpha_i \pm \delta, \beta_i) \cos \xi_i / r_i^2$$

$$\cos \xi_i = \frac{z_i}{\sqrt{a^2 + y_i^2 + z_i^2}}$$

$$r_i = \sqrt{a^2 + y_i^2 + z_i^2}$$

$$\alpha_i = \xi_i = \arccos\left(\frac{z_i}{\sqrt{a^2 + y_i^2 + z_i^2}}\right)$$

$$\beta_i = \arccos\left(\frac{-a}{\sqrt{a^2 + y_i^2}}\right)$$

Рис. 6. Пример программирования формул для расчета условной освещенности в программе Excel

Fig. 6. An example of programming formulas for calculating conditional illumination in the Excel program

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
4		$I_i(\alpha_i\beta_i)=264$		$e_i=8,0$													
5		$\delta=0$		$y_i=0$													
6		$\alpha_i=15,9$		$z_i=5$													
7		$\beta_i=180$		$a=2$													
8				$I_i(\alpha_i\beta_i)=247$													
12						5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	
13	5	1,5	1,6	1,8	1,9	2	2,1	2	1,9	1,8	1,6	1,5	5				
14	4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4	2,5	2,4	2,3	2,1	1,9	1,6	4				
15	3	1,9	2,2	2,5	2,7	2,9	3	2,9	2,7	2,5	2,2	1,9	3				
16	2	2,1	2,5	2,9	3,3	3,6	3,7	3,6	3,3	2,9	2,5	2,1	2				
17	1	2,3	2,9	3,5	4,1	4,5	4,7	4,5	4,1	3,5	2,9	2,3	1				
18	0	2,5	3,2	4,1	5,1	5,8	6,6	5,8	5,1	4,1	3,2	2,5	0				
19	-1	2,5	3,6	4,9	6,3	7,5	8	7,5	6,3	4,9	3,6	2,5	-1				
20	-2	2,4	3,7	5,5	7,8	10	10,9	10,0	7,8	5,5	3,7	2,4	-2				
21	-3	2	3,4	5,6	9	13	14,9	13	9	5,6	3,4	2	-3				
22	-4	1,3	2,4	4,5	8,6	14,7	18,3	14,7	8,6	4,5	2,4	1,3	-4				
23	-5	0,5	0,9	2	4,5	9,6	13,4	9,6	4,5	2	0,9	0,5	-5				
24						-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	

Рис. 7. Пример таблицы со значениями расчетных точек условной освещенности в программе Excel
Fig. 7. Example of a table with the values of calculated points conditional illumination in the Excel program

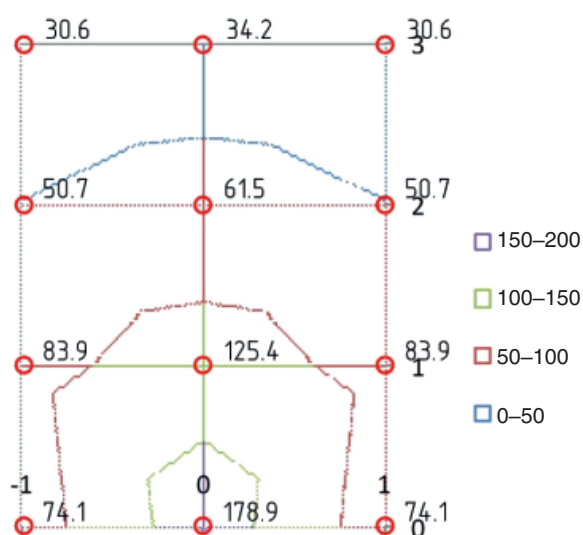


Рис. 8. Пример распределения освещенности по выделенной светом площадке фасада 2×3 м в xls (Excel) при локальном архитектурном освещении

Fig. 8. An example of the distribution of illumination over a 2×3 m facade area highlighted by light in xls (Excel) with local architectural lighting

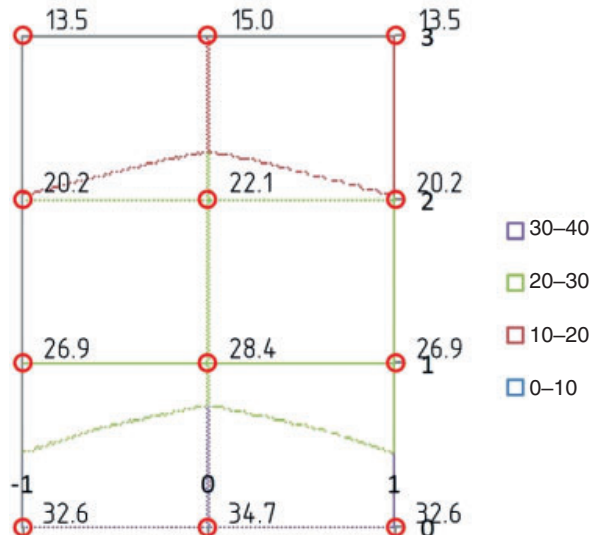


Рис. 9. Пример распределения яркости по выделенной светом площадке фасада 2×3 м при локальном архитектурном освещении

Fig. 9. An example of the brightness distribution over a 2×3 m facade area highlighted by light under local architectural lighting

ле (8) соответствует наклону осветительного прибора к плоскости фасада, знак минус – наклону от плоскости фасада.

Экранирование светильников расчетной плоскостью учитывается через значение $\cos\alpha_i$. При $\cos\alpha_i \leq 0$ световые лучи от i -го светильника не падают в расчетную плоскость и $e_i=0$.

Условная освещенность наклонной плоскости только относительно оси Oz (когда $\varphi=0^\circ$) равна:

$$e_i = \frac{I_i(\alpha_i\beta_i)\cos^3\alpha_i}{z_i^2} \left(\cos\theta + \frac{x_i}{z_i} \sin\theta \right). \quad (9)$$

Условная освещенность горизонтальной плоскости от i -го светильника равна:

$$e_i = \frac{I_i(\alpha_i\beta_i)\cos^3\alpha_i}{z_i^2}. \quad (10)$$

Условная освещенность вертикальных плоскостей равна:

$$e_i = \frac{I_i(\alpha_i\beta_i)\cos^3\alpha_i}{z_i^2} (x_i \cos\varphi + y_i \sin\varphi). \quad (11)$$

Для вертикально расположенного фасада переход от условной освещенности e_i к освещенности осуществляется по формуле:

$$E_{\text{лок}} = e_i \Phi / 1000, \quad (12)$$

где e – условная освещенность при световом потоке 1000 люмен, рассчитанная по формуле (1); Φ – световой поток применяемого светового прибора, люмен.

С помощью функционала программы Excel строится картограмма освещенности локального архитектурного освещения для контрольных точек.

Переход к яркости вертикально расположенного фасада осуществляется по формуле:

$$L_{\text{лок}} = \rho E_{\text{лок}} / \pi, \quad (13)$$

где ρ – интегральный коэффициент отражения света поверхностью фасада здания; $E_{\text{лок}}$ – освещенность от локального освещения, лк.

Применение данной методики позволяет без применения сложных компьютерных программ рассчитать яркость и ее распределение по фасаду здания, подобрать нужную мощность осветительного прибора для обеспечения нормируемой яркости фасада.

Список литературы

- Щепетков Н.И. Светодизайн города и интерьера. М.: Светотехника, 2021. 454 с.
- Козлов И.Н. Исследование метода разработки архитектурного освещения // *Инновации. Наука. Образование*. 2021. № 25. С. 761–765.
- Красильникова Е., Воронин А., Кукс С. Светодиоды в архитектуре. Опыт внедрения светодиодных технологий в архитектурном освещении // *Полупроводниковая светотехника*. 2010. Т. 3. № 5. С. 42–46.
- Колгушкина С.В., Быстрянцева Н.В., Прокопенко В.Т. Исследование яркостных характеристик объектов с архитектурным освещением на центральных улицах города Тулы // *Светотехника*. 2019. № 4. С. 24–28.
- Запоренко С.Ю. Особенности праздничного архитектурного освещения фасадов объектов культуры // *Современное строительство и архитектура*. 2020. № 1 (17). С. 6–14.
- Юминов П.А. Современное архитектурное освещение // *Научные исследования и разработки молодых ученых*. 2015. № 4. С. 8–11.
- Кокаман Б. Энергоэффективность освещения исторических зданий на примере освещения караван-сарая Эль-Аман // *Светотехника*. 2020. № 2. С. 56–62.
- Галатану К.Д., Ашраф М., Лукаче Д.Д., Бю Д., Чиугудеану К. Коэффициент использования для архитектурного освещения // *Светотехника*. 2019. № 4. С. 30–37.
- Щепетков Н.И. Искусство освещения Берлина // *Светотехника*. 2011. № 2. С. 13–19.
- Шмаров И.А. Применение свойств сферической симметрии светового поля в светотехнических расчетах // *Вестник отделения строительных наук РААСН*. 1999. Вып. 2.

References

- Shchepetkov N.I. Svetodizain goroda i inter'era [Lighting design of the city and interior]. Moscow: Svetotekhnika. 2021. 454 p.
- Kozlov I.N. Research of the method of architectural lighting development. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2021. No. 25, pp. 761–765. (In Russian).
- Krasilnikova E., Voronin A., Kuks S. LEDs in architecture. Experience of introduction of LED technologies in architectural lighting. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*. 2010. Vol. 3. No. 5, pp. 42–46. (In Russian).
- Kolgushkina S.V., Bystryantseva N.V., Prokopenko V.T. Investigation of brightness characteristics of objects with architectural lighting on the central streets of the city of Tula. *Svetotekhnika*. 2019. No. 4, pp. 24–28. (In Russian).
- Zaporenko S.Yu. Features of festive architectural lighting of facades of cultural objects. *Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura*. 2020. No. 1 (17), pp. 6–14. (In Russian).
- Yuminov P.A. Modern architectural lighting. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh*. 2015. No. 4, pp. 8–11. (In Russian).
- Kokaman B. Energy efficiency of lighting of historical buildings on the example of lighting of the El-Aman caravanserai. *Svetotekhnika*. 2020. No. 2, pp. 56–62. (In Russian).
- Galatanu K.D., Ashraf M., Lukache D.D., Byu D., Chiugudeanu K. Coefficient of use for architectural lighting. *Svetotekhnika*. 2019. No. 4, pp. 30–37. (In Russian).
- Shchepetkov N.I. The art of lighting Berlin. *Svetotekhnika*. 2011. No. 2, pp. 13–19. (In Russian).
- Shmarov I.A. Application of the properties of spherical symmetry of the light field in lighting calculations. *Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk RAASN*. 1999. Iss. 2. (In Russian).

УДК 697.7

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-52-57>

С.Г. ШЕЙНА¹, д-р техн. наук (rgsu-gsh@mail.ru),
У. ШИСЯО¹, аспирант,
А.А. ФЕДОРОВСКАЯ¹, канд. техн. наук (bina-87@mail.ru);
Н.П. УМНЯКОВА^{2,3}, д-р техн. наук

¹ Донской государственный технический университет (344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

² Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

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

Применение ветровой энергетики в жилищном строительстве Китая

Рассматриваются основные этапы внедрения возобновляемой энергетики, в частности ветроэнергетики, в процессы строительства в Китае. Показано, как распределяется энергопотребление здания в течение его эксплуатации, а также оценен ветроэнергетический потенциал Китая, от ретроспективного анализа использования ветра, до прогнозных характеристик наращивания потенциала энергокомплекса страны. Подробный анализ мощностей, вводимых на территории Китая в части ветроэнергетических установок, демонстрирует их рост, а прогнозный период представлен до 2060 г. Отдельно показано территориальное распределение ветроэнергетических мощностей Китая на прибрежной территории, где заметна их особая концентрация. Также проанализирован жилищный фонд и распределение территориальных ресурсов в Китае. В рамках поднимаемой темы анализируются характеристики распределения, запасов и использования ветровой энергии в Китае и проблемы в процессе продвижения применения возобновляемых источников энергии; выдвигаются соответствующие предложения. Произведен обзор сотрудничества в области применения ветроэнергетических турбин в зданиях, приведены примеры построенных зданий на территории Китая. Определены положительные стороны внедрения ветроэнергетических установок в строительстве и их влияние на создание здоровой среды обитания в городах.

Ключевые слова: жилищное строительство, возобновляемые источники энергии, зарубежный опыт, альтернативная энергетика, анализ, ветроэнергетика, строительство.

Для цитирования: Шейна С.Г., Шисяо У., Федоровская А.А., Умнякова Н.П. Применение ветровой энергетики в жилищном строительстве Китая // *Жилищное строительство*. 2023. № 7. С. 52–57.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-52-57>

S.G. SHEINA¹, Doctor of Sciences (Engineering) (rgsu-gsh@mail.ru),

U. SHISIAO¹, Postgraduate,

A.A. FEDOROVSKAYA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (bina-87@mail.ru);

N.P. UMNIAKOVA^{2,3}, Doctor of Sciences (Engineering)

¹ Don State Technical University (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation)

² Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyi Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

Application of Wind Power in Housing Construction in China

The main stages of the introduction of renewable energy, in particular wind energy, in the construction processes in China are considered. It shows how the building's energy consumption is distributed during its operation, and also assesses China's wind energy potential, starting from a retrospective analysis of wind use, ending with predictive characteristics of building up the potential of the country's energy complex. A detailed analysis of the capacities introduced in China in terms of wind power plants demonstrates their growth, and the forecast period is presented until 2060. Separately, the territorial distribution of China's wind power capacities in the coastal area is shown, where their special concentration is noticeable. The housing stock and the distribution of territorial resources in China are also analyzed. Within the framework of the topic, the characteristics of the distribution, stocks and use of wind energy in China and the problems in the process of promoting the use of renewable energy sources are analyzed, and relevant proposals are put forward. An overview of cooperation in the field of the use of wind turbines in buildings was made, examples of buildings built in China were given. The positive aspects of the introduction of wind power plants in construction, and their impact on the creation of a healthy living environment in cities, are determined.

Keywords: housing construction, renewable energy sources, foreign experience, alternative energy, analysis, wind energy, construction.

For citation: Sheina S.G., Shisiao U., Fedorovskaya A.A., Umnyakova N.P. Application of wind power in housing construction in China. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 7, pp. 52–57. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-7-52-57>

С быстрым развитием китайской экономики потребление энергии в Китае также резко возросло (рис. 1) [1].

Китай традиционно использовал уголь в качестве основного источника энергии, поскольку страна обладает огромными запасами угольного топлива, а затраты на его добычу и переработку довольно низкие, что делает его дешевым источником энергии. На долю угля приходится более 70% общего потребления энергии в Китае. Однако с 2010 г. потребление угля в Китае стабилизировалось, в то время как альтернативные источники энергии демонстрируют тенденцию к росту.

Китай является крупнейшим в мире строительным рынком, ежегодный прирост площадей которого достигает 2 млрд м². Согласно статистике доля энергопотребления зданий в общем потреблении энергии общественных благ увеличилась с 10% в 1978 г. до примерно 25% в настоящее время. Энергопотребление зданий (включая энергопотребление в строительстве, энергопотребление в быту, отопление и кондиционирование воздуха и т. д.) составляет около 30% общего энергопотребления общества, а если добавить энергию, потребляемую при производстве строительных материалов, то энергопотребление, связанное со зданиями, составит 46,7% общего энергопотребления общества. Энергопотребление при эксплуатации зданий в виде диаграммы представлено на рис. 2 [2].

Энергопотребление зданий велико. Полное использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия и энергия ветра, является эффективным способом содействия социалистическому развитию, а также решения ситуации с огромным энергопотреблением зданий [3].

Земля очень богата ресурсами энергии ветра. Согласно соответствующей статистике годовая энергия излучения из космоса составляет $1,5 \times 10^{18}$ кВт·ч в год. Из них 2,5%, т. е. $3,8 \times 10^{16}$ кВт·ч в год энергии, поглощается атмосферой, производя около $4,3 \times 10^{12}$ кВт·ч в год энергии ветра. На ресурсы энергии ветра большое влияние оказывает рельеф местности, мировые ресурсы энергии ветра в основном сосредоточены в сжатых зонах прибрежных и открытых континентов. Ветроэнергетические ресурсы Китая в основном распределены на северо-западе, севере Китая, северо-востоке и юго-востоке прибрежных и островных районов; ресурсы относительно сконцентрированы.

Изменение климата и устойчивое развитие – это вызовы, стоящие перед всем человечеством. С растущей готовностью стран к преобразованию энергетики и экологичному и низкоуглеродному развитию традиционные ископаемые источники энергии будут

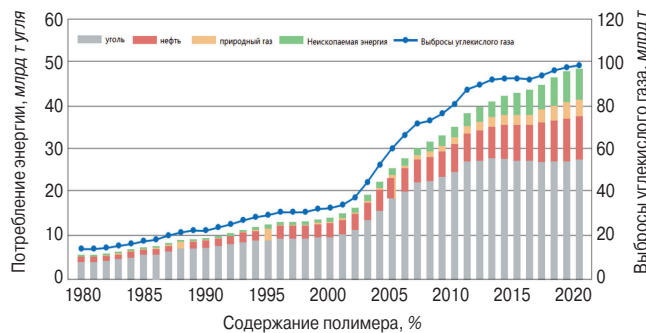


Рис. 1. Потребление энергии в Китае, 1980–2020 гг.
Fig. 1. Energy consumption in China, 1980–2020



Рис. 2. Доля части энергопотребления в период эксплуатации здания
Fig. 2. Share of energy consumption during the life of the building

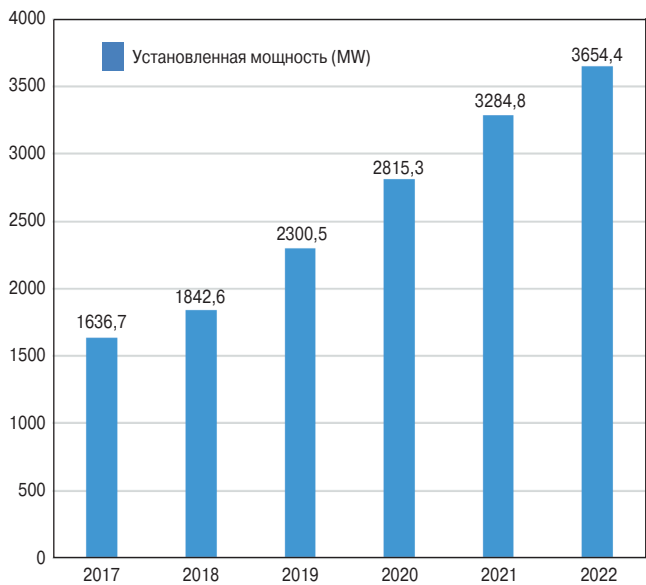


Рис. 3. Совокупная установленная мощность ветроэнергетики в Китае с 2017 по 2022 г.
Fig. 3. Cumulative installed wind power capacity in China from 2017 to 2022

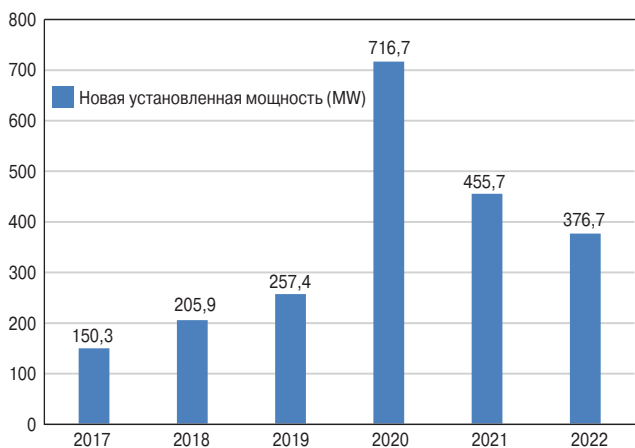


Рис. 4. Новая установленная мощность ветроэнергетики в Китае с 2017 по 2022 г.

Fig. 4. New installed wind power capacity in China from 2017 to 2022



Рис. 5. Прогнозируемая установленная мощность ветроэнергетики в Китае к 2020–2060 гг.

Fig. 5. Projected installed wind power capacity in China by 2020–2060

постепенно заменяться возобновляемыми источниками энергии. Возобновляемые источники энергии, представленные ветроэнергетикой, будут опираться на свои преимущества низкой стоимости и низкоуглеродистый производственный процесс, чтобы обеспечить мощный импульс для продвижения глобальной реализации чистых нулевых выбросов углекислого газа.

Согласно статистике Национального энергетического управления по состоянию на 2021 г. установленная мощность ветроэнергетики Китая, подключенной к сетям, достигла 300,15 млн кВт. Это в 1,4 раза превышает общую установленную мощность ветроэнергетики в Европейском союзе, в 2,6 раза – в Соединенных Штатах, и уже 12 лет подряд занимает первое место в мире. Установленная мощность ветроэнергетики, подключенной к сети в Китае, впервые превысила 100 млн кВт в 2015 г. В 2019 г. она превысила 200 млн кВт, что заняло четыре года; к 2022 г. она

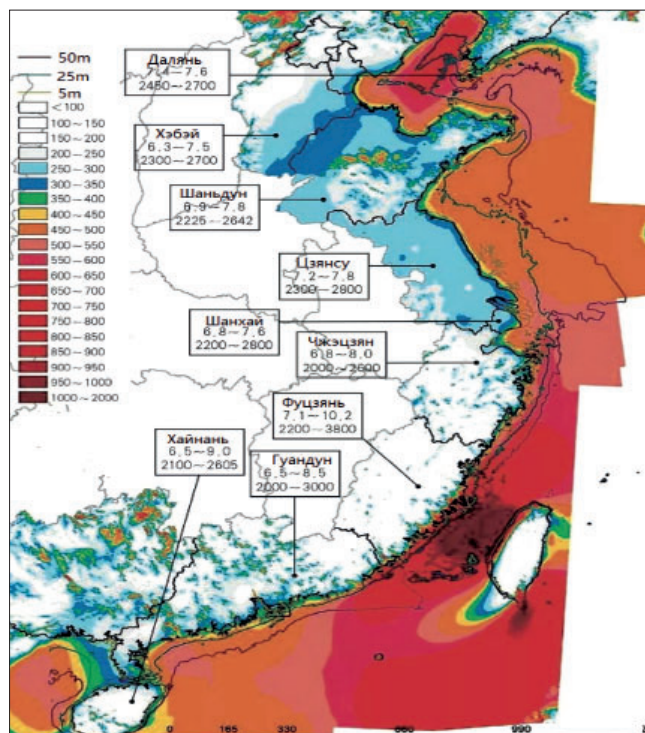


Рис. 6. Карта распределения ветроэнергетических ресурсов в различных прибрежных регионах Китая

Fig. 6. Distribution map of wind energy resources in various coastal regions of China

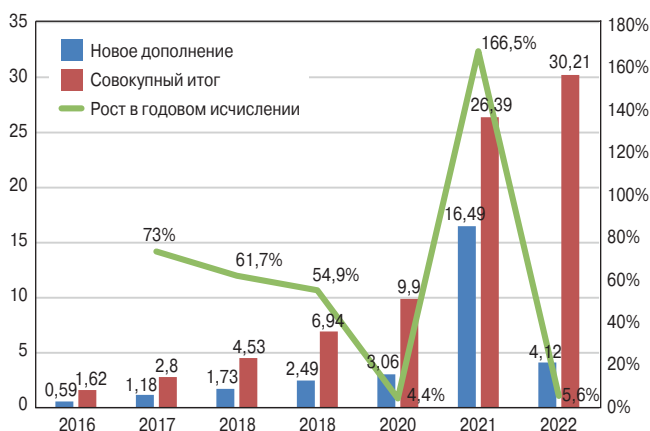


Рис. 7. Рост новых установленных мощностей в Китае в годовом исчислении

Fig. 7. New installed capacity growth in China year on year

превысила 300 млн кВт, что заняло всего два года. По состоянию на 2022 г. [9] установленная мощность ветроэнергетики Китая составляет 376,7 млн кВт. По сравнению с 2021 г. она снизилась на 21% в годовом исчислении (рис. 3, 4).

Оглядываясь назад на развитие ветроэнергетики, можно сказать, что производство ветроэнергетики в Китае в полном смысле слова началось в 2005 г., когда Киотский протокол официально вступил в силу и был принят внутренний «Закон о возобновляемых источниках энергии» Китая. Благодаря двойному

стимулированию государственной политики и рыночной экономики производство ветроэнергетики в Китае быстро развивается. В 2020 г. новая установленная мощность ветроэнергетики в Китае достигла 716,7 млн кВт, что стало наибольшим значением за последние десять лет [10]. Хотя новые установленные мощности ветроэнергетики в Китае снизились с 2021 по 2022 г., общая тенденция находится на подъеме (рис. 4).

Согласно стратегическим целям Китая по сокращению выбросов углекислого газа и углеродной нейтральности установленная мощность ветроэнергетики Китая, как ожидается, достигнет 500 млн кВт в 2025 г.; 800 млн кВт в 2030 г.; 2,2 млрд кВт в 2050 г. и 2,5 млрд кВт в 2060 г. (рис. 5).

В дополнение к наземной ветроэнергетике морская ветроэнергетика в Китае быстро развивается. Протяженность береговой линии составляет около 18 тыс. км, и в ней насчитывается более 6 тыс. островов. По сравнению с сушей морские ветроэнергетические ресурсы Китая богаче. Согласно недавним результатам детального исследования и оценки ветроэнергетических ресурсов Китая, проведенного Китайским метеорологическим управлением [11], техническая мощность освоения ветроэнергетических ресурсов в зоне глубиной 5–25 м на 100 м от берега в Китае составляет около 200 млн кВт, а в зоне глубиной 5–50 м – около 500 млн кВт (рис. 6).

Карты распределения и оценки ветроэнергетического потенциала для субъектов Российской Федерации можно будет строить при помощи геоинформационных систем в среде QGIS (Тимофеев А.В. Актуальность использования ветроэнергетики и метод построения карт скорости ветра на соответствующих высотах на территории Республики Башкортостан // Современные научные исследования и инновации. 2021. № 2).

В настоящее время производство ветроэнергетики в Китае главным образом основано на береговой ветроэнергетике, и совокупная установленная мощность береговой ветроэнергетики составила 92,2% общей установленной мощности ветроэнергетики в 2022 г. Морская ветроэнергетика ограничена стоимостью, что приводит к меньшим общим масштабам. В последние годы была внедрена национальная и местная политика по продвижению проектов морской ветроэнергетики, и соответственно развита морская ветроэнергетика, достигшая примерно 7,8% в 2022 г., но общая установленная мощность по-прежнему остается низкой.

По мере того как постепенная нехватка земельных ресурсов становится все более серьезной, больше внимания уделяется производству энергии ветра на шельфе и интеграции городских высотных зданий

с ветроэнергетикой. В 2022 г. общая установленная мощность в Китае составила 305 млн кВт (рис. 7).

В 2022 г. Китай обнародовал документы, указывающие на то, что офшорная ветроэнергетика станет одной из ключевых отраслей в Китае, и страна будет решительно поддерживать модернизацию и прорыв технологического уровня офшорного ветроэнергетического оборудования. Проекты в области морской ветроэнергетики неуклонно продвигаются под влиянием политики Китая.

С быстрым развитием экономики урбанизация Китая развивалась быстрыми темпами. Согласно данным Бюро статистики Китая, население страны на конец 2021 г. составляло 1412,6 млн человек, а постоянное городское население составляло 914,25 млн, что на 12,05 млн больше, чем на конец 2020 г.; численность постоянного сельского населения составила 498,35 млн человек, сократившись на 11,57 млн; доля городского населения составила 64,72%. Это на 0,83% больше, чем в конце предыдущего года.

Площадь застройки городов по всей стране составляет 62,4 тыс. км², а площадь земельных участков под застройку – 66 млрд м², из которых общий городской жилищный фонд составляет 37,097 млрд м², а площадь жилых помещений – 16,057 млрд м². Фасад, который может быть преобразован, составляет 860 млн м², но коэффициент использования верхнего этажа китайских зданий низок; на верхних этажах зданий имеется большое количество незанятой площади, а интеграция зданий, генерирующих энергию ветра, низкая.

В 2002 г. Китай начал изучать новый тип ветряной турбины с вертикальной осью. И менее чем за пять лет мощность была увеличена от 200 Вт – 100 кВт, так что ветротурбина с вертикальной осью улучшена с точки зрения эффективности, сложности регулирования скорости при ее превышении и сложности запуска. Уникальный низкий уровень шума, низкая начальная скорость ветра, адаптация к сложному и изменчивому ветру окружающей среды, малый радиус вращения и другие преимущества – все это привлекло внимание людей. Комбинирование ветряных турбин с вертикальной осью со зданиями, использование верхнего этажа здания для установки ветряных турбин с вертикальной осью не только не повлияют на качество жизни людей, но также могут непрерывно вырабатывать экологически чистую энергию и снизить зависимость здания от внешней энергии.

В сентябре 2014 г. для производства электроэнергии официально подана заявка на первый китайский проект интеграции ветроэнергетических зданий «Проект ветротурбины с вертикальной осью Shanghai Tianshan Road Xinyuanchang Youth Apartment мощно-

стью 3 кВт». Проект был предоставлен шанхайской компанией, установлен и отлажен. Измеренная начальная скорость ветра составляет 2,2 м/с, что лучше проектного стандарта; выработка электроэнергии стабильна, и она совместно питается от солнечных фотоэлектрических элементов, создавая прецедент для китайских зданий, использующих дополнительные системы электроснабжения от ветра и света. В новых зданиях, особенно в высотных, принимая во внимание особый принцип работы ветряных турбин, на стадии проектирования в дополнение к соблюдению традиционных законов, таких как функциональность и эстетика формы высотных зданий, архитекторы также должны учитывать экологические требования при эксплуатации ветряных турбин. Форма здания способствует индукции ветра. В определенном месте здания открывается аэродинамическая труба: ветер собирается, усиливается и обеспечивает эффективную работу ветряных турбин.

Известно, что Всемирный торговый центр Бахрейна имеет двухбашенный дизайн. Две независимые главные башни имеют форму треугольной пирамиды. Если смотреть по отдельности, каждая главная башня похожа на раскрытый парус. Две башни имеют форму открытого «рогового рта». Такая форма конструкции способствует сближению и усилению энергии ветра. В нем используются три ветряные турбины с горизонтальной осью диаметром 29 м. Ожидается, что когда лопасти заработают на полную мощность, они будут обеспечивать 11–15% электроэнергии для двух зданий (Xie E. China puts nuclear power, waste disposal on the front burner in bid to meet climate targets // South China Morning Post. 09.03.2021).

Являясь первым зданием с нулевым выбросом углерода в Китае, Pearl River City Tower также является одним из самых энергоэффективных зданий в мире на сегодняшний день. Здание использует комбинацию энергии ветра и солнца для выработки электроэнергии. В отличие от большинства зданий в новом городе Чжунцзян, которые выходят окнами с севера на юг, ориентация здания рассчитана на 13° с востока на юг. Простая регулировка на 13° может

заставить здание получать больше энергии ветра и солнца. Уникальная изогнутая форма здания индуцирует направление ветра и усиливает его скорость. Конструкция аэродинамической трубы не только еще больше усиливает мощность ветра и удовлетворяет потребности в работе четырех ветряных турбин в аэродинамической трубе, но и устраняет боковое воздействие ветра на здание, тем самым снижая спрос на сталь и бетон.

Выводы

Использование новых и возобновляемых источников энергии является фундаментальной мерой по смягчению энергетического кризиса, сокращению загрязнения окружающей среды, улучшению условий жизни и работы, а также содействию устойчивому экономическому развитию. Это тенденция развития энергосбережения в зданиях и применения ветроэнергетического потенциала на обширных территориях для целей жилищного строительства.

Опираясь на опыт Китая, стоит отметить, что уже достаточно давно в зданиях различной этажности применяются «зеленые» источники энергии, такие как энергия ветра. Обладая несомненными преимуществами, «зеленая» энергия применяется в архитектурном проектировании и строительстве, тем самым снижая потребление энергии зданиями, сокращая использование ископаемого топлива, уменьшая воздействие зданий на природную среду; таким образом, обеспечивается создание здоровой и комфортной среды жизнедеятельности.

Если проводить сравнение темпов роста использования ветроэнергетического потенциала в России и Китае, то на территории Российской Федерации начиная с 2019 г. данные процессы определены государственной поддержкой и созданием необходимой законодательной базы при участии компаний ГК «Росатом», ГК «Роснано» и ПАО «ЭНЭЛ Россия» [12–15]. Реализация стратегий устойчивого развития и продвижение энергосберегающих зданий для достижения цели углеродной нейтральности имеют большое практическое значение.

Список литературы

1. Su C., Liang B.I., Ding L., Zhang S.G., Liu H. Research on China's Energy Development Strategy under Carbon Neutrality. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version)*. 2021. Vol. 36, Iss. 9, pp. 1001–1009. DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20210727001
2. Су И., Сюй Ц. Перспективы Китая и России на мировом энергетическом рынке до 2050 года // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2020. № 4–5 (173). С. 92–99.

References

1. Su C., Liang B.I., Ding L., Zhang S.G., Liu H. Research on China's Energy Development Strategy under Carbon Neutrality. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version)*. 2021. Vol. 36, Iss. 9, pp. 1001–1009. DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20210727001
2. Su I., Xu C. Prospects of China and Russia in the world energy market up to 2050. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2020. No. 4–5 (173), pp. 92–99. (In Russian).

3. Fedorovskaya A.A., Sheina S.G. Comprehensive assessment for optimal wind energy use in cottage construction // *Magazine of Civil Engineering*. 2022. № 114 (6). Article No. 11414. DOI: 10.34910/MCE.114.14
4. Динь Ч.Д. Краткий анализ важности солнечной энергии при реконструкции зданий // *Китайско-зарубежная архитектура*. 2018. № 1. С. 219–221.
5. Пермяков М.Б., Краснова Т.В., Иванченко Т.А. Использование солнечной энергии в комплексе энергоэффективных зданий – полигонов // *Строительные материалы, конструкции и технологии XXI века: Межвузовский сборник научных трудов*. Магнитогорск, 2019. С. 28–35.
6. Кулагин В.А. Трансформация энергетики в условиях ускорения технологического прогресса // *Энергетическая политика*. 2019. № 2. С. 54–61.
7. Ван Ш.Х. Применение технологии производства солнечной фотоэлектрической энергии и интеграции зданий в энергосберегающие здания // *Экологически чистые строительные материалы*. 2018. Т. 135. С. 64–68.
8. Ли Н. Применение и проектирование солнечной фотоэлектрической технологии в архитектуре // *Энергосбережение*. 2019. № 38. С. 1–3.
9. Liuyan Y., Jianchao X. Review on China's wind power policy (1986–2017) // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26 (4). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05540-0>
10. Хуан Х.Л., Ху Ч.Л., Дай В.Б. Состояние развития и тенденции развития морской ветроэнергетики // *Энергетика и энергосбережение*. 2020. № 177. С. 57–59.
11. Бобылев С.Н., Барабошкина А.В., Джу Сюан. Приоритеты низкоуглеродного развития для Китая // *Государственное управление*. 2020. № 82. DOI: 10.24411/2070-1381-2020-10095
12. Бутузов В.А., Безруких П.П., Грибков С.В. Российская ветроэнергетика: научно-конструкторские школы, этапы развития, перспективы // *Сантехника. Отопление. Кондиционирование*. 2021. № 5 (233). С. 62–76.
13. Зильберова И.Ю., Маилан В.Д., Петров К.С., Лебедь К.Г. Роль государства в повышении благоустройства городской среды // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 3.
14. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523.
15. Бутузов В.А. Современная российская возобновляемая энергетика // *Энергия: экономика, техника, экология*. 2022. № 3. С. 52–63. DOI: 10.7868/S0233361922030090
3. Fedorovskaya A.A., Sheina S.G. Comprehensive assessment for optimal wind energy use in cottage construction. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. № 114 (6). Article No. 11414. DOI: 10.34910/MCE.114.14
4. Ding C.D. A brief analysis of the importance of solar energy in building renovation. *Kitaisko-zarubezhnaya arkhitektura*. 2018. No. 1, pp. 219–221.
5. Permyakov M.B., Krasnova T.V., Ivanchenko T.A. Utilization of solar energy in the complex of energy-efficient buildings – polygons. *Building materials, structures and technologies of the XXI century: Interuniversity collection of scientific papers*. Magnitogorsk. 2019, pp. 28–35. (In Russian).
6. Kulagin V.A. Energy transformation in the conditions of accelerating technological progress. *Energeticheskaya politika*. 2019. No. 2, pp. 54–61. (In Russian).
7. Wang S.H. Application of solar photovoltaic power generation technology and building integration in energy-efficient buildings. *Ekologicheski chistye stroitel'nye materialy*. 2018. Vol. 135, pp. 64–68. (In Russian).
8. Li N. Application and design of solar photovoltaic technology in architecture. *Energosberezhenie*. 2019. No. 8, pp. 1–3. (In Russian).
9. Liuyan Y., Jianchao X. Review on China's wind power policy (1986–2017). *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26 (4). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05540-0>
10. Huang H.L., Hu C.L., Dai W.B. Development status and development trends of offshore wind energy. *Energetika i energosberezhenie*. 2020. No. 177, pp. 57–59. (In Russian).
11. Bobilev S.N., Baraboshkina A.V., Ju Xuan. Priorities of low-carbon development for China. *Gosudarstvennoe upravlenie*. 2020. No. 82. (In Russian). DOI: 10.24411/2070-1381-2020-10095
12. Butuzov V.A., Bezrukikh P.P., Gribkov S.V. Russian wind energy: scientific and design schools, stages of development, prospects. *Santekhnika. Otoplenie. Konditsionirovanie*. 2021. No. 5 (233), pp. 62–76. (In Russian).
13. Zilberova I.Y., Mailyan V.D., Petrov K.S., Lebed K.G. The role of the state in improving the urban environment. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2020. No. 3. (In Russian).
14. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem. *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523.
15. Butuzov V.A. Modern Russian renewable energy. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2022. No. 3, pp. 52–63. (In Russian). DOI: 10.7868/S0233361922030090

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до пяти 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 пять 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 графическом редакторе Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.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»[®] был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала 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

В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести специальную литературу

Монография «Защита деревянных конструкций»

Автор – Ломакин А.Д.

Приведены результаты исследований и рекомендации по конструкционной и химической защите деревянных конструкций. Особое внимание уделено защите несущих клееных деревянных конструкций и конструкций из ЛВЛ от эксплуатационных воздействий и возгорания. Описаны традиционные и разработанные автором методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натуральных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Представлены результаты мониторинга влажностного состояния несущих ДКК в таких крупных объектах, как ЦВЗ «Манеж», крытый конькобежный центр в Крылатском в Москве и др., при проведении которого использована разработанная автором методика оценки древесины с использованием модельных образцов.



Учебное пособие «Химическая технология керамики»

Авторы – Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гузман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С.

Освещены вопросы современного состояния технологии основных видов керамических изделий строительного, хозяйственно-бытового и технического назначения, а также различных видов огнеупоров. Главное внимание уделено основным процессам технологии керамики и ее свойствам. Подробно изложены характеристика различных видов сырья, проблемы подготовки керамических масс различного вида и их формование различными методами, особенности механизмов спекания, а также дополнительные виды обработки керамики: металлизация, глазурирование, декорирование, механическая обработка. Детально описаны свойства керамических изделий – механические, деформационные, теплофизические, электрофизические, в том числе при высоких температурах.



Учебное пособие «Практикум по технологии керамики»

Авторы – коллектив ученых РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Рассмотрены основные методы отбора проб, испытаний сырьевых материалов, контроля и исследования технологических процессов, а также определения свойств готовой продукции, применяемые в керамической, огнеупорной и смежных отраслях промышленности. Пособие может быть использовано не только как учебное, но и в качестве полезного руководства для инженеров заводских и научно-исследовательских лабораторий.



Книга «Керамические пигменты»

Авторы – Масленникова Г.Н., Пищ И.В.

В монографии рассмотрены физико-химические основы синтеза пигментов, в том числе термодинамическое обоснование реакций, теория цветности, современные методы синтеза пигментов и их классификация, методы оценки качества. Приведены сведения по технологии пигментов и красок различных цветов и кристаллических структур. Описаны современные методы декорирования керамическими красками изделий из сортового стекла, фарфора, фаянса и майолики. Книга предназначена для научных сотрудников, студентов, специализирующихся в области технологии керамики и стекла, а также для инженерно-технических работников, занятых в производстве керамических изделий и красок.



Книга «Сухие строительные смеси. Состав, свойства»

Авторы – Корнеев В.И., Зозуля П.В.

Изложены основы современных представлений о сухих строительных смесях и растворах. Приведены основные определения и классификации сухих смесей. Охарактеризованы составляющие: вяжущие, заполнители, наполнители, функциональные добавки. Показана методика проектирования составов. Описаны основные группы ССС, их состав и свойства. В приложении даны основные применяемые термины и определения, наиболее употребляемые единицы измерения, перечень российских и зарубежных стандартов и др.



Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»

Авторы – Балакшин Ю.З., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам, и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.



**Заказать литературу можно через редакцию
по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36; e-mail: mail@rifsm.ru,
или оформить заявку на сайте <http://rifsm.ru/>**

100+ TECHNO BUILD

X Международный
строительный форум
и выставка

forum-100.ru

3-6 октября 2023
Екатеринбург



стать экспонентом

18 720
посетителей

322
экспонента

688
спикеров

207
секций

21
страна

*показатели 2022 года