



ISSN 0044-4472

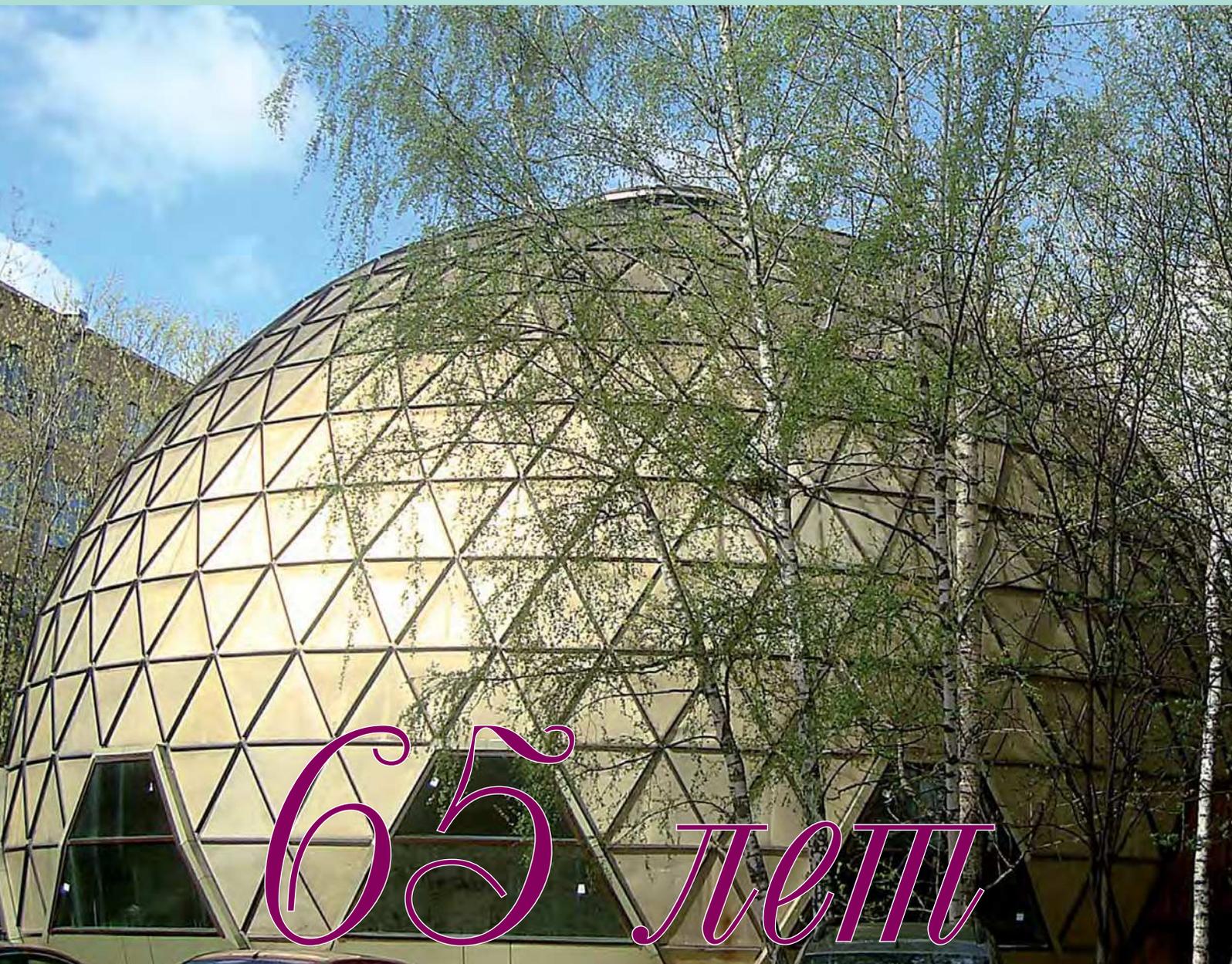
6'2021

# ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

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

издается с 1958 г.



## 65 лет

Научно-исследовательскому институту  
строительной физики Российской академии архитектуры  
и строительных наук (НИИСФ РААСН)

# 100+

# TECHNO BUILD

[forum-100.ru](http://forum-100.ru)

VIII Международный  
строительный форум  
и выставка

# ДИАЛОГ РЕГИОНОВ

5-7 октября 2021  
Екатеринбург

---

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)

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)

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

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

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

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

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

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

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

**Авторы**

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

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

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

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

# ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с 1958 г.

6'2021

**65 лет Научно-исследовательскому институту строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**

Н.П. УМНЯКОВА, И.Л. ШУБИН К проблеме пересмотра СП 131.13330 «Строительная климатология» в условиях изменяющегося климата . . . . .	3
Е.В. КОРКИНА, И.А. ШМАРОВ, М.Д. ТЮЛЕНЕВ К расчету коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконных блоков . . . . .	11
В.А. ИЛЬИЧЕВ, Н.С. НИКИФОРОВА, А.В. КОННОВ Прогноз изменения температурного состояния основания здания в условиях потепления климата . . . . .	18
С.И. КРЫШОВ, Д.Е. КОТЕЛЬНИКОВ, А.М. РОГАЛЁВ, О.В. ГРАДОВА Влияние среднего коэффициента звукопоглощения на требуемую звукоизоляцию светопрозрачных конструкций от транспортного шума . . . . .	25
Е.В. ЛЕВИН, А.Ю. ОКУНЕВ Нормативное регулирование обследования теплозащитных свойств ограждающих конструкций в натуральных условиях. Пересмотр положений ГОСТ Р 54852–2011 . . . . .	30
Е.В. ГОРБАРЕНКО Возможные различия в нормативных и действительных значениях естественной освещенности, вызванные неучетом реальных условий облачности . . . . .	42

## Подписка на электронную версию



<https://journal-hc.ru/index.php/ru/podpiska-2021>

**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)*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**The authors**

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

**The Editorial Staff**

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

**Reprinting**

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

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

# ZHILISHCHNOE STROITEL'STVO

Published since 1958

6'2021

## **The Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN): 65 Years**

N.P. UMNIAKOVA, I.L. SHUBIN

On the Problem of Revising the Code of Rules SP 131.13330 "Construction Climatology"  
in a Changing Climate . . . . . 3

E.V. KORKINA, I.A. SHMAROV, M.D. TYULENEV

Calculation of the Coefficient Taking Into Account the Losses  
of Solar Radiation in the Frames of Window Blocks . . . . . 11

V.A. ILYICHEV, N.S. NIKIFOROVA, A.V. KONNOV

Forecast of Changes in the Temperature State of the Building Base in Climate Warming . . . . . 18

S.I. KRYSHOV, D.E. KOTELNIKOV, A.M. ROGALEV, O.V. GRADOVA

Influence of the Average Sound Absorption Coefficient of Translucent Structures  
on the Required Sound Insulation from Traffic Noise . . . . . 25

E.V. LEVIN, A.Y. OKUNEV

Normative Regulation of the Examination of Heat-Protection Properties of Enclosing Structures  
in Natural Conditions. Revision of the Provisions of GOST R 54852–2011 . . . . . 30

E.V. GORBARENKO

Possible Differences in the Standard and Actual Values of Natural Illumination Caused  
by Not Taking Into Account the Actual Cloud Conditions . . . . . 42

## Subscription to the electronic version



<https://journal-hc.ru/index.php/ru/podpiska-2021>

**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 551.581.2

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-3-10>

Н.П. УМНЯКОВА<sup>1,2</sup>, д-р техн. наук (n.umniakova@mail.ru);  
И.Л. ШУБИН<sup>1,3</sup>, д-р техн. наук (shuig@mail.ru)

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

<sup>2</sup> Московский информационно-технологический университет – Московский архитектурно-строительный институт (109316, г. Москва, Волгоградский пр., 32, к. 11)

<sup>3</sup> Российский университет транспорта (127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9)

## К проблеме пересмотра СП 131.13330 «Строительная климатология» в условиях изменяющегося климата

СП 131.13330 «Строительная климатология» является основным документом для проектирования большинства строительных объектов на территории России. Учитывая, что в настоящее время происходит изменение климата на Земле и основной тренд происходит в сторону потепления, своевременная актуализация климатических параметров является важной задачей. В статье проведен анализ изменения климатических параметров, таких как различные температуры воздуха, динамика осадков, высоты и продолжительности снежного покрова, тенденции к изменению температуры грунта в арктических регионах на различной глубине от поверхности Земли и др. На основе обработки климатических данных проведен пересмотр климатических параметров внесены изменения в таблицы с климатическими параметрами для холодного и теплого периодов года, среднемесячными и среднегодовой температурой и парциальным давлением, средними и максимальными амплитудами суточных колебаний температуры по месяцам, а также разработана таблица со значениями удельной энтальпии и влагосодержания воздуха для семнадцати городов РФ, которую можно применить при проектировании систем кондиционирования.

**Ключевые слова:** изменение климата, температура, влажность, осадки, расчетные значения, потепление, климатические параметры.

**Для цитирования:** Умнякова Н.П., Шубин И.Л. К проблеме пересмотра СП 131.13330 «Строительная климатология» в условиях изменяющегося климата // *Жилищное строительство*. 2021. № 6. С. 3–10.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-3-10>

N.P. UMNYAKOVA<sup>1,2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (n.umniakova@mail.ru)

I.L. SHUBIN<sup>1,3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (shuig@mail.ru)

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

<sup>2</sup> Moscow Information and Technological University – Moscow Architectural and Construction Institute (32, bldg. 11, Volgogradsky Driveway, Moscow, 109316, Russian Federation)

<sup>3</sup> Russian University of Transport» (9, bldg. 9, Obraztsova Street, Moscow, GSP-4, 127994, Russian Federation)

### On the Problem of Revising the Code of Rules SP 131.13330 “Construction Climatology” in a Changing Climate

Code of Rules SP 131.13330 “Construction Climatology” is the main document for structural calculation and design of most construction projects in Russia. Considering that climate changings on the Earth is currently taking place, and the main trend is towards warming, the timely updating of climatic parameters is an important task. The article analyzes changes in climatic parameters, such as different air temperatures, dynamics of precipitation, height and duration of snow cover, tendencies to change in soil temperature in the Arctic regions at different depths from the earth’s surface, etc. Based on the processing of climatic data, the climatic parameters were revised for the period from 1966 to 2019 and changes were made to tables with climatic parameters for the cold and warm periods of the year, average monthly and average annual temperatures and partial pressure, average and maximum amplitudes of daily temperature fluctuations by months, as well as a table with the values of the specific enthalpy and moisture content of air for 17 cities of the Russian Federation, which can be used in the design of air conditioning systems, was developed.

**Keywords:** climate change, temperature, humidity, precipitation, design values, warming. climate parameters.

**For citation:** Umnyakova N.P., Shubin I.L. On the problem of revising the Code of Rules SP 131.13330 “Construction Climatology” in a changing climate. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 6, pp. 3–10. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-3-10>

Климат Земли менялся на протяжении всей ее истории [1–7]. Только за последние 650 тыс. лет планета пережила несколько периодов оледенений и «оттепелей». Анализируя климат периода голоцена последние 8 тыс. лет можно утверждать, что колебания температуры и влажности происходили постоянно [8, 9]. 8 тыс. лет тому назад на Земле начался период с теплым и влажным климатом, который продолжался в течение трех тысячелетий. Средняя температура Земли в это время была на 2–3°C выше современной. В России темнохвойные леса простирались до берегов Баренцева моря, а в Сибири тайга достигала мыса Челюскина – северной оконечности полуострова Таймыр. В конце этого периода выделяется так называемый климатический оптимум голоцена.

В период от 5 до 2,5 тыс. лет назад наступило похолодание и некоторое иссушение климата. Примерно 2,5–3 тыс. лет назад средняя температура воздуха на Земле была примерно на 2°C ниже современной. В этот период времени увеличились площади плавучих полярных льдов, климат стал суше, снегопады перекрывали перевалы в Средней Греции на высоте порядка 1,2–1,5 км.

Две с половиной тысячи лет назад начался новый период с очень неоднородными и довольно резкими климатическими колебаниями. В первые столетия нашей эры произошло потепление, температура была на 0,2–0,4°C выше современной. При этом влажность воздуха на Земле понизилась и произошло осушение большего количества торфяников. В VIII–XIV вв. климат стал мягче, оставаясь теплым. Этот период раннего Средневековья получил название малого климатического оптимума. Среднемировая температура превышала нынешнюю примерно на 1°C. В это время на побережье Балтийского моря выращивали виноград, а викинги освоили покрытую зеленой растительностью Гренландию и дали ей название «Зеленая земля» (Green land).

В XIII–XIV вв. пришло похолодание, и период с XIII по XVIII в. назвали «малый ледниковый период». В это время средняя температура опускалась до значений почти на 2°C ниже современной.

Со второй половины XIX в. на Земле начался период потепления, и до 1940-х гг. потепление наблюдалось во всем Северном полушарии, величина которого составила 0,6°C. После 1940 г. до середины 1960-х гг. произошло похолодание на 0,4°C, сменившееся с 1970-х гг. новым потеплением, продолжающимся в настоящее время (рис. 1) [10, 11].

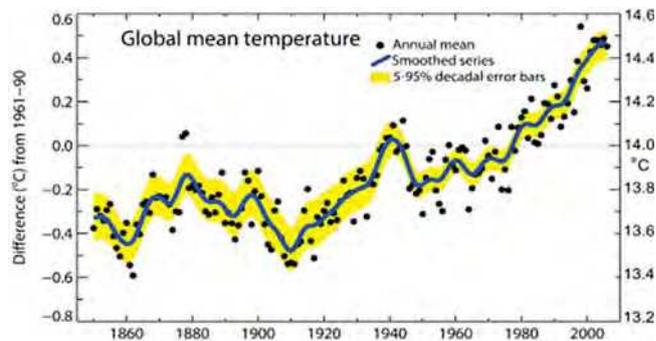


Рис. 1. Изменение средней мировой температуры поверхности Земли [6]  
Fig. 1. Change in the average global temperature of the Earth's surface [6]

Любопытно отметить, что период потепления совпал с промышленной революцией в России, Европе и США, начавшейся в конце XVIII в. В 1890-е гг. промышленное производство в России выросло вдвое, а к 1913 г. – вчетверо. По темпам роста промышленности к 1913 г. Россия вышла на первое место в мире, обогнав Германию и США. По темпам роста населения Россия в период 1860–1910 гг. опережала все европейские страны [10, 11].

Любопытно отметить, что с началом промышленной революции конца XVIII – начала XIX в. началось резкое изменение концентрации углекислого газа, метана и оксида азота (рис. 2) в атмосфере [6, 12, 13]

Анализ климатических изменений в Российской Федерации показал, что потепление климата наблюдается практически по всей территории и во все сезоны [16, 17]. За период с 1976 г. скорость роста осредненной по РФ среднегодовой температуры составила в 2019 г. +0,47°C/10 лет; в 2020 г. +0,51°C/10 лет. Наибольший рост температуры наблюдается в весенний период – 0,66°C/10 лет [14–17].

Следует отметить, что наиболее быстрое потепление происходит в азиатской части побережья Северного Ледовитого океана. Там скорость роста средне-

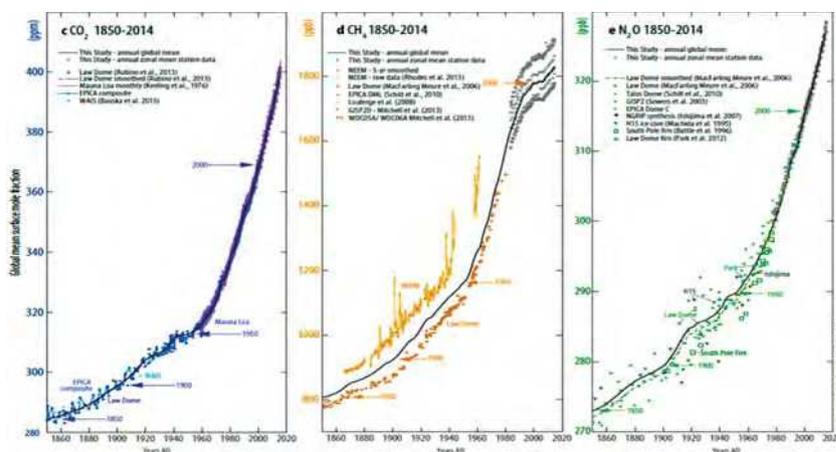


Рис. 2. Изменение концентрации углекислого газа, метана и оксида азота в атмосферном воздухе Земли  
Fig. 2. Changes in the concentration of carbon dioxide, methane and nitrogen oxide in the Earth's atmospheric air

годовой температуры составляет:  $+0,8^{\circ}\text{C}/10$  лет на Таймыре и  $+1,2^{\circ}\text{C}/10$  лет на побережье Восточно-Сибирского моря. По территории России наибольшее потепление происходит:

- в весенний и осенний периоды на побережье Восточно-Сибирского моря, в Восточной Сибири ( $+0,81^{\circ}\text{C}/10$  лет весной и  $+0,75^{\circ}\text{C}/10$  лет осенью);

- в весенний период в Западной ( $+0,75^{\circ}\text{C}/10$  лет) и Средней Сибири ( $+0,87^{\circ}\text{C}/10$  лет);

- в зимний период на северо-западе Европейской части России;

- в летнее время на Европейской части России южнее  $55^{\circ}$  с. ш., в Южном ( $+0,72^{\circ}\text{C}/10$  лет), Центральном ( $+0,55^{\circ}\text{C}/10$  лет) и Северо-Кавказском федеральных округах ( $+0,61^{\circ}\text{C}/10$  лет) [16].

На территории Российской Федерации происходит незначительное увеличение количества выпадающих осадков и по сравнению с периодом 1961–1990 гг. Их величина составила в 2019–2020 гг. 108–106% нормы. Территории с избытком осадков составили 27% площади России, а с дефицитом осадков – 12% (рис. 5) [15–17].

Наиболее значительный избыток осадков наблюдается на востоке Западной и на западе Средней Сибири, в районе Байкала, Амура, в Приморье; недостаток осадков – на юге Европейской части России и большей части Восточной Сибири. Например, в Южном федеральном округе выпало только 71% нормы.

Хотя в России засухи наблюдаются постоянно, в 2020 г. надо отметить сильнейшую засуху в сентябре на юге Европейской части России, когда в Южном федеральном округе выпало только 36% нормы осадков.

Одной из климатических особенностей России является тенденция к увеличению высоты снежного покрова в холодный период года при сокращении количества дней со снегом в среднем на 1,17 дня за 10 лет и уменьшение продолжительности залегания снежного покрова. Увеличение высоты снежного покрова происходит на севере Западной Сибири, на побережье Охотского моря, в центре Европейской части России, на севере Таймыра, на юге Красноярского края, востоке Якутии, в Чукотском АО и на юге Камчатки. Уменьшение максимальной за зиму высоты снежного покрова наблюдается на северо-западе и отдельных станциях на севере Европейской части России, на юге Западной Сибири, севере

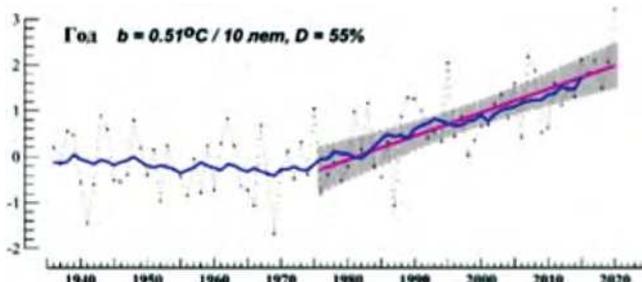


Рис. 3. Среднегодовая аномалия температуры приземного воздуха в России

Fig. 3. Average annual surface air temperature anomaly in Russia

Камчатского края, северо-западе Республики Саха (Якутия), юго-западе Таймырского муниципального района Красноярского края (рис. 6) [15–16].

Вследствие увеличения температуры воздуха в России во все сезоны, и в первую очередь вдоль побережья Северного Ледовитого океана, происходит уменьшение площади территорий с вечной мерзлотой и увеличение площади сезонно-талых слоев (рис. 7). В 2020 г. по сравнению с предыдущим годом практически на всех площадках Европейской части России

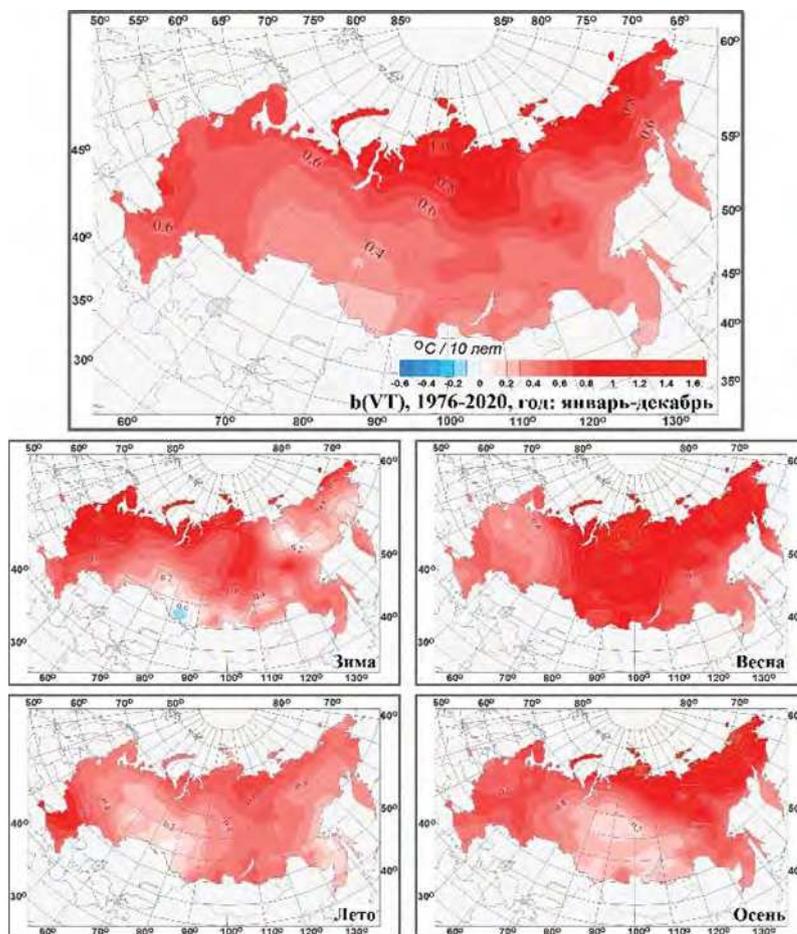


Рис. 4. Тренд среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на территории России за период 1976–2020 гг. ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) [17]

Fig. 4. Trend of average annual and average seasonal values of surface air temperature in Russia for the period 1976–2020 ( $^{\circ}\text{C}/10$  years) [17]

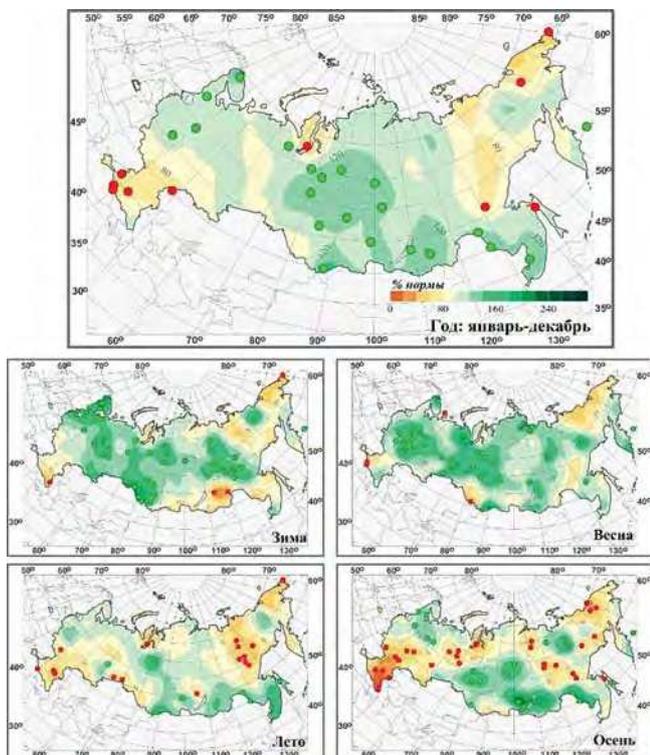


Рис. 5. Аномалии осадков на территории России в 2020 г. с указанием локализации 5%-х экстремумов (красные кружки) и 95%-х (зеленые кружки)

Fig. 5. Precipitation anomalies on the territory of Russia in 2020, indicating the localization of 5% extremes (red circles) and 95% (green circles)

и Западной Сибири происходит существенное увеличение мощности сезонно-талого слоя. Анализ данных о состоянии сезонно-талого слоя, проведенный Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова (ГГО), показал, что на большей части площадок (87%) значения сезонно-талых слоев в 2020 г. превышают средние многолетние значения. И это говорит о том, что сохраняются устойчивые тенденции к увеличению глубины оттаивания вечной мерзлоты. Такое состояние грунтов в северных регионах, где различные здания и сооружения были построены на вечной мерзлоте, создает опасность их разрушения и требует разработки инженерных решений по сохранению оттаиваемых грунтов в мерзлом состоянии или мероприятий по укреплению фундаментов.

В условиях тенденции изменения климата России в сторону потепления НИИСФ РААСН совместно с ГГО им. А.И. Воейкова провели работу по пересмотру СП 131.13330 «Строительная климатология».

В процессе подготовки новой версии СП 131.13330 было обнаружено, что в некоторых субъектах не освещены значительные части территорий, такие как южная часть Архангельской обл., Ростовская обл., север Ленинградской обл. В связи с этим были добавлены ряд населенных пунктов, например Каргополь и Шенкурск в Архангельской обл., Выборг в Ленинградской обл., Можайск, Наро-Фоминск и Черусти в

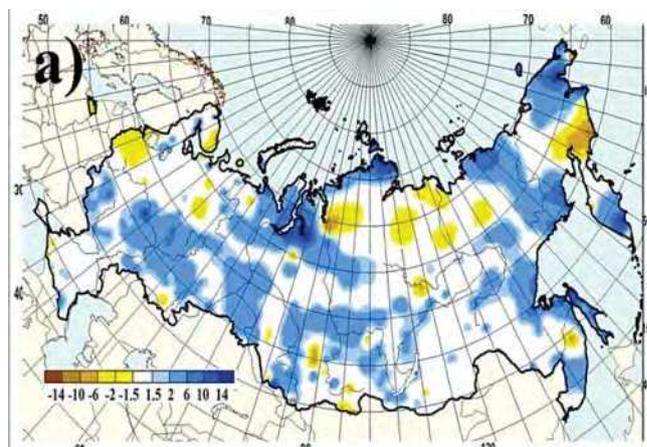


Рис. 6. Коэффициенты линейного тренда (см/10 лет) в рядах максимальной за зимний период высоты снежного покрова [19]

Fig. 6. Linear trend coefficients (cm/10 years) in the rows of the maximum snow cover height for the winter period [19]

Московской обл., населенный пункт Гигант в Ростовской обл., а также Магас на территории Ингушской Республики. Также обновлены климатические данные для Троицкого и Новомосковского автономных округов Московской обл.

При пересмотре СП 131.13330 добавлены климатические параметры для проектирования отопления, вентиляции и кондиционирования: удельная энтальпия и влагосодержание наружного воздуха в теплый период года.

Для расчета параметров наружного климата (температуры, энтальпии и влагосодержания) использовались «срочные» данные с интервалом измерений 3 ч. Данные за весь период наблюдения отсортированы по выделенным граничным параметрам. Граничные параметры приняты с обеспеченностью 98%, т. е. необеспеченность менее 175 ч/год.

Табл. 11.1 СП 131.13330 со значениями средней и максимальной суточной амплитуды температуры на-

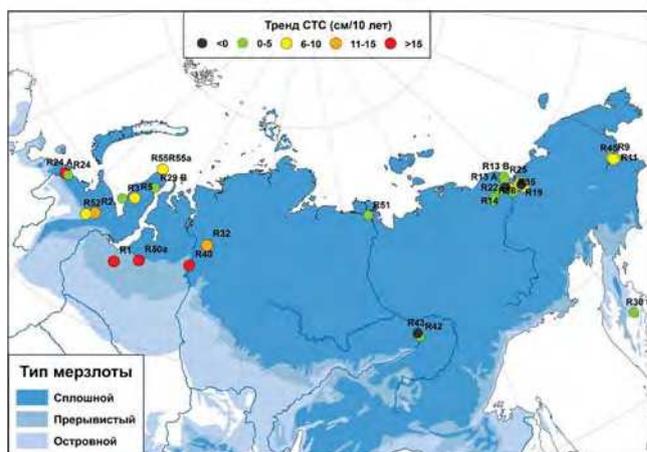


Рис. 7. Средние значения мощности сезонно-талого слоя (см) за период 2005–2020 гг. на территории криолитозоны РФ [17]

Fig. 7. Average values of the thickness of the seasonal thaw layer (cm) for the period 2005–2020 on the territory of the cryolithozone of the Russian Federation [17]

Таблица 1  
Table 1

Климатические параметры холодного периода года  
Climatic parameters of the cold season

Республика, край, автономный округ, область, пункт	Средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$		Преобладающее направление ветра за декабрь – февраль	Количество осадков за ноябрь – март, мм	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца, %	Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ , периода со средней суточной температурой воздуха						Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, $^{\circ}\text{C}$	Абсолютная минимальная темпе- ратура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$ , обеспеченностью 0,94	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, $^{\circ}\text{C}$ , обеспеченностью		Температура воздуха наиболее холодных суток, $^{\circ}\text{C}$ , обеспеченностью	
	$\leq 10^{\circ}\text{C}$						$\leq 8^{\circ}\text{C}$		$\leq 0^{\circ}\text{C}$		Средняя температура	Продолжительность				Средняя температура	Продолжительность	Средняя температура	Продолжительность
	Средняя температура	Продолжительность	Средняя температура	Продолжительность	Средняя температура	Продолжительность													
Архангельск	3,1	3,6	ЮВ	188	84	85	-3,4	270	-4,5	248	-8,1	175	8,3	-45	-20	-34	-37	-38	-40
Калининград	2,8	3,5	З	315	82	86	2,2	211	1,3	188	-1,7	82	5,4	-33	-6	-18	-21	-21	-24
Петропавловск-Камчатский	4,6	5	С	611	65	68	-0,6	276	-1,5	251	-4,7	160	5,3	-32	-10	-18	-19	-20	-22
Сочи	2,2	4,6	В	804	68	72	7,2	128	6,6	93	-	0	6,2	-13	3	-3	-5	-4	-6
Севастополь	-	-	СВ	204	67	80	5,6	160	4,9	132	-	0	6,1	-22	1	-7	-9	-12	-14
Санкт-Петербург	2,4	3,2	ЮЗ, З	322	84	86	-0,4	230	-1,2	211	-4,4	130	5,8	-36	-11	-24	-27	-28	-31
Магадан	3,9	4,7	СВ	128	60	62	-6,1	302	-7,4	278	-11,1	210	7,2	-35	-21	-28	-30	-30	-32
Москва	1,8	2	З	235	80	84	-1,3	222	-2,2	204	-5,3	135	6	-43	-13	-26	-29	-29	-34
Владивосток	6,6	7,1	С	103	52	58	-3	220	-4,2	199	-8,2	135	7,3	-31	-15	-22	-24	-24	-26
Якутск	1,5	1,7	С	48	72	76	-19,2	264	-20,6	252	-25,6	209	6,1	-64	-43	-52	-54	-55	-56
Екатеринбург	3,1	4	ЮЗ	121	73	76	-4,5	237	-5,5	220	-9,2	159	7	-47	-18	-32	-35	-37	-41
Казань	3,1	3,9	Ю	193	80	83	-3,8	222	-4,7	207	-7,9	151	6,8	-47	-17	-29	-32	-33	-36
Томск	2,1	2,4	Ю	180	74	78	-6,6	251	-7,8	233	-11,8	174	8,8	-55	-24	-39	-42	-43	-44

Таблица 2  
Table 2Климатические параметры теплого периода года  
Climatic parameters of the warm season

Республика, край, область, автономный округ, пункт	Барометрическое давление, гПа	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,98	Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца, %	Количество осадков за апрель–октябрь, мм	Суточный максимум осадков, мм	Преобладающее направление ветра за июнь–август	Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с
Архангельск	1011	20	24	22,1	34	10,8	73	60	382	63	С	2,9
Калининград	1013	22	25	23,5	37	10	76	60	500	118	З	2,4
Петропавловск- Камчатский	999	16	18	17,4	30	6,6	82	73	475	207	ЮВ	0
Сочи	1010	26	29	28,2	39	7,8	79	69	848	245	В	0
Севастополь	1010	28	31	27,7	38	8,1	69	64	222	118	В	-
Санкт-Петербург	1013	22	25	23,2	37	8,2	71	59	438	76	З	2,3
Магадан	996	14	16	15,4	26	5,6	83	76	435	108	З	3,1
Москва	997	23	26	24,5	38	10,1	72	57	470	88	З	0
Владивосток	993	21	23	23,4	34	5,8	85	78	715	244	Ю	6,1
Якутск	1003	23	27	25,5	38	13,2	60	44	189	78	З, СЗ	2,4
Екатеринбург	982	23	26	24,7	38	10,5	65	52	396	94	З	2,4
Казань	1000	24	27	26	39	10,3	68	53	363	75	З	0
Томск	1001	23	26	25,2	36	11,7	73	55	379	81	Ю	0

Таблица 3  
Table 3

Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С  
Average monthly and annual air temperature, °С

Республика, край, автономный округ, область, пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Архангельск	-13,3	-11,7	-5,7	0,3	6,9	12,8	16,2	13,4	8,2	1,9	-4,5	-9,4	1,3
Калининград	-2,3	-1,5	1,9	7	12,4	15,7	17,9	17,4	13,1	8,3	3,6	-0,1	7,8
Петропавловск-Камчатский	-6,9	-6,5	-3,9	0,1	4,5	9,3	12,7	13,5	10,4	5,3	-0,9	-5,1	2,7
Сочи	6,1	6,4	8,4	12,3	16,4	20,3	23,2	23,6	20	15,6	11,4	8	14,3
Севастополь	3,5	4,1	6	10,9	15,8	19,9	22,4	22,1	18,2	12,9	8,9	5,4	12,4
Санкт-Петербург	-6,5	-6,1	-1,4	4,6	11,3	15,8	18,6	16,9	11,6	5,8	0,5	-3,6	5,6
Магадан	-16,4	-15,5	-11,3	-4,8	1,7	7,6	11,6	12	7,4	-1,2	-10,2	-14,8	-2,8
Москва	-7,8	-6,9	-1,3	6,5	13,3	17	19,1	17,1	11,3	5,2	-0,8	-5,2	5,6
Владивосток	-12,6	-9,1	-2,0	4,9	9,7	13,4	17,8	19,8	15,8	8,8	-0,9	-9,4	-12,6
Якутск	-39,1	-34,6	-20,3	-4,7	7,5	16,2	19,3	15,2	5,9	-7,8	-27,8	-37,8	-9
Екатеринбург	-13,8	-11,7	-4,1	4,5	11,4	16,6	18,6	15,8	10	2,5	-5,5	-11,2	2,8
Казань	-11,6	-10,7	-4,2	5,4	13,6	17,8	20	17,9	11,8	4,3	-2,9	-8,6	4,4
Томск	-18,1	-15,7	-7,3	1,7	9,6	16,2	18,7	15,4	9,1	1,4	-8,5	-15,2	0,6

ружного воздуха, состав которой в предыдущих редакциях был значительно меньше, в новой редакции СП значительно расширена и рассчитана для полного списка станций, входящих в состав СП 131.13330 в табл. 3.1 и 4.1.

В СП 131.13330 выполнен расчет климатических параметров за период 1966–2018 гг., обновлены климатические параметры для холодного и теплого периодов более чем для 150 населенных пунктов РФ (табл. 3.1 и 4.1 Свода правил). Для проведения этих расчетов была сформирована база данных на основе метеорологических рядов, предоставленных ВНИИГМИ-МЦД. Качество рядов было оценено с помощью статистических методов климатологической обработки. Пересмотренные климатические параметры для отдельных городов России для холодного периода года приведены в табл. 1, для теплого времени года в табл. 2, значения среднемесячных и среднегодовой температуры в табл. 3.

Анализ климатических параметров для городов Российской Федерации, за период с 1972 по 2020 г. показал, что в большинстве регионов РФ наблюдается тенденция к потеплению. Среднемесячные и среднегодовая температуры воздуха, представленные в СНиП II-A.6–72 «Строительная климатология и геофизика»; СНиП 2.01.01–82 «Строительная климатология и геофизика»; СНиП 23-01–99 «Строительная климатология»; СП 131.13330.2020, показали, что происходит повышение среднемесячных значений температуры наружного воздуха и, как следствие этого, повышение среднегодовой температуры.

#### Список литературы

1. Котляков В.М. О причинах и следствиях современных изменений климата // *Солнечно-земная физика*. 2012. Вып. 21. С. 110–114.

Состав таблицы с данными со среднесуточной температурой воздуха в июле  $\geq 21^\circ\text{C}$  увеличен до 42 населенных пунктов по сравнению с находящимися ранее в таблице 24 населенными пунктами. Это также подтверждает факт потепления климата, так как практически в два раза увеличилось количество населенных пунктов со среднесуточной температурой июля  $21^\circ\text{C}$  и выше.

Таким образом, в результате пересмотра СП 131.13330 «Строительная климатология» в документ вошли пересмотренные уточненные климатические параметры, соответствующие реальной климатической ситуации в России. Использование в расчетах актуальных климатических данных дает возможность проектировать ограждающие строительные конструкции, соответствующие реальным климатическим условиям с учетом тенденции изменения климата, позволяет оптимально использовать материальные и энергетические ресурсы, повысить качество проектирования ограждающих конструкций зданий и инженерных систем (например, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) и надежность и безопасность зданий.

#### References

1. Kotlyakov V.M. On the causes and consequences of modern climate changes. *Solnechno-zemnaya fizika*. 2012. Vol. 21, pp. 110–114. (In Russian).
2. Lyubomudrov A.A. On the possible cause of global warming on the planet Earth. *Innovatsii i investitsii*. 2018. No. 10, pp. 201–207. (In Russian).
3. Biktash L.Z. Influence of the total solar radiation flux to the Earth's climate. *Magnetizm i aeronomiya*. 2019. Vol. 59. No. 3, pp. 393–399. (In Russian).
4. Lyubchansky I.I. Global climate change. Who is to blame? Novosibirsk: Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS. 2018. 26 p.

2. Любомудров А.А. О возможной причине глобального потепления на планете Земля // *Инновации и инвестиции*. 2018. № 10. С. 201–207.
3. Бикташ Л.З. Влияние потока полной солнечной радиации на климат Земли // *Магнетизм и аэрономия*. 2019. Т. 59. № 3. С. 393–399.
4. Любечанский И.И. Глобальное изменение климата. Кто виноват? Новосибирск: Институт систематики и экологии животных СО РАН, 2018. 26 с.
5. Стоккер Т.Ф., Цинь Д., Платтнер Дж.-К., Тигнор М., Аллен С.К., Бошунг Дж., Науэлс А., Ся Ю., Бекс В. Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Кембридж Университи Пресс, Кембридж, Соединенное Королевство. Нью-Йорк, США. МГЭИК, 2013. 204 с.
6. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Ленинград: Гидрометеоздат, 1979. 409 с.
7. Бобылев С.Н., Грицевич И.Г. Глобальное изменение климата и экономическое развитие. М.: ЮНЕП, 2005. 64 с.
8. Поморцев О.А., Кашкаров Е.П., Ловелиус Н.В. Биоклиматическая хронология голоцена: реконструкция и прогноз. *Вестник СВФУ*. 2015. № 3. С. 100–115.
9. Котляков В.М. Когда наступит очередной ледниковый период? // *Независимая газ*. 2020. 9 марта.
10. Погребинская В.А. Вторая промышленная революция // *Экономический журнал*. 2005. Вып. 10.
11. Сабайдаш М. В. Ретроспективный анализ экономического развития морских портов России (конец XIX – начало XX века) // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Экономика*. 2019. Вып. 2. С. 58–71.
12. Монин А.С., Шишков Ю.А.. Климат как проблема физики // *Успехи физических наук*. 2000. Т. 170. № 4. С. 419–447.
13. Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С. Энергетический баланс Земли и изменение климата // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. № 5 (20). С. 446–457.
14. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Российской Федерации в 2019 году». М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2020. 1846 с.
15. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М.: Росгидромет, 2020. 97 с.
16. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М.: Росгидромет, 2021. 104 с.
17. Обзор состояния и загрязнений окружающей среды в Российской Федерации в 2019 году. М.: Росгидромет, 2020. 247 с.
5. Stokker T.F., D. Qin J.-K., Plattner M., Tignor S.K. Allen J., Boshung A., Nauels Y., Xia W., Bex V. *Izmenenie klimata*, 2013 g.: Fizicheskaya nauchnaya osnova. Vklad Rabochei gruppy I v Pyaty doklad ob otsenke Mezhpriavitel'stvennoi gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata [Climate Change, 2013: Physical Scientific basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, USA. IPCC, 2013. 204 p.
6. Monin A.S., Shishkov Yu.A. *Istoriya klimata* [History of climate]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979. 409 p.
7. Bobilev S.N., Gritsevich I.G. *Global'noe izmenenie klimata i ekonomicheskoe razvitiye* [Global climate change and economic development]. Moscow: UNEP, 2005. 64 p.
8. Pomortsev O.A., Kashkarov E.P., Lovelius N.V. *Bioclimatic chronology of the Holocene: reconstruction and forecast*. *Vestnik SVFU*. 2015. No. 3, pp. 100–115. (In Russian).
9. Kotlyakov V.M. When will the next ice age come? *Nezavisimaya Gazeta*. 09.03.2020. (In Russian).
10. Pogrebinskaya V.A. The second industrial revolution. *Ekonomicheskii zhurnal*. 2005. Iss. 10. (In Russian).
11. Sabaidash M.V. Retrospective analysis of the economic development of Russian seaports (end of the XIX – beginning of the XX century). *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika*. 2019. Iss. 2, pp. 58–71. (In Russian).
12. Monin A.S., Shishkov Yu.A. Climate as a problem of physics. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2000. Vol. 170. No. 4, pp. 419–447. (In Russian).
13. Vinogradov Yu.E., Strebkov D.S. Energy balance of the Earth and climate change. *Innovatsii v sel'skom khozyaistve*. 2016. No. 5 (20), pp. 446–457. (In Russian).
14. Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i okhrane okruzhayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu» [State report “On the state and Protection of the Environment in the Russian Federation in 2019”]. Moscow: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, 2020. 1846 p.
15. Doklad ob osobennostyakh klimata naterritorii Rossiiskoi Federatsii za 2019 god [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2019]. Moscow: Rosgidromet. 2020. 97 p.
16. Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2020 god [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2020]. Moscow: Rosgidromet. 2021. 104 p.
17. Obzor sostoyaniya i zagryazneniioкружyayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu [Review of the state and pollution of the surrounding environment in the Russian Federation in 2019]. Moscow: Rosgidromet. 2020. 247 p.

УДК 692.82

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-11-17>

Е.В. КОРКИНА<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук (elena.v.korkina@gmail.com);  
И.А. ШМАРОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (Shmarovigor@yandex.ru);  
М.Д. ТЮЛЕНЕВ<sup>2</sup>, аспирант (tulenevm@gmail.com)

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

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

## К расчету коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконных блоков

При проектировании современных зданий большое внимание уделяется обеспечению экологичности и комфорта при соблюдении требований по энергосбережению. Для достижения указанных эффектов в российских нормативных документах при расчетах естественного освещения и теплопоступлений от солнечной радиации в помещения здания учитываются различные параметры заполнения светопроемов. Одним из этих параметров является коэффициент пропускания солнечной радиации, который равен произведению коэффициента пропускания остекления на коэффициент, учитывающий потери солнечной радиации в переплетах оконного блока. Последний коэффициент определяется расчетным образом. Получение формулы для его расчета было основано на светотехническом моделировании. Однако в настоящее время расчеты по ней затруднительны ввиду ее громоздкости. В данной работе проводится адаптация этой формулы для инженерных расчетов путем ее поэтапного упрощения, сравнения результатов расчета с исходным вариантом и формирования границ ее применения. Формула включает поправочные коэффициенты, представленные в табличной форме, для различных размеров светопрозрачных ячеек светопрозрачной конструкции при фиксированной толщине переплета и его отражательных свойствах.

**Ключевые слова:** естественное освещение, оконный блок, солнечная радиация, потери света, светопропускание.

**Для цитирования:** Коркина Е.В., Шмаров И.А., Тюленев М.Д. К расчету коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконных блоков // *Жилищное строительство*. 2021. № 6. С. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-11-17>

E.V. KORKINA<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (elena.v.korkina@gmail.com);  
I.A. SHMAROV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (Shmarovigor@yandex.ru); M.D. TYULENEV<sup>2</sup>, Postgraduate  
<sup>1</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

<sup>2</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Calculation of the Coefficient Taking Into Account the Losses of Solar Radiation in the Frames of Window Blocks

When designing modern buildings, great attention is paid to ensuring environmental friendliness and comfort while meeting the requirements for energy conservation. To achieve these effects in the Russian regulatory documents, when calculating natural light and heat gain from solar radiation in the premises of the building, various parameters of filling light gaps are taken into account. One of these parameters is the transmission coefficient of solar radiation, which is equal to the product of the transmission coefficient of the glazing by the coefficient that takes into account the loss of solar radiation in the frames of the window block. The last coefficient is determined by calculation. Obtaining the formula for its calculation was based on lighting modeling. However, at present, calculations on it are difficult due to its bulkiness. In this paper, we adapt this formula for engineering calculations by gradually simplifying it, comparing the calculation results with the original version, and forming the boundaries of its application. The formula includes correction factors presented in tabular form for various sizes of translucent cells of a translucent structure with a fixed thickness of the frame and its reflective properties.

**Keywords:** day light, window block, solar radiation, light loss, light transmission.

**For citation:** Korkina E.V., Shmarov I.A., Tyulenev M.D. Calculation of the coefficient taking into account the losses of solar radiation in the frames of window blocks. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 6, pp. 11–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-11-17>

В настоящее время при проведении светотехнических расчетов большое внимание уделяется обеспечению экологичности [1–4] и комфорта [5–7] жилища при соблюдении требований по энергосбе-

режению [8–10]. В области расчетов естественного освещения помещений зданий проводятся различные исследования [11–13], направленные на обеспечение светового комфорта при учете влияния светопрозрач-

ных ограждающих конструкций [14–16], зданий окружающей застройки [1, 17, 18], относительной яркости небосвода [5] и др. Учет влияния светопрозрачных ограждающих конструкций проводится также при расчете теплоступлений от солнечной радиации, включенный в расчет энергии, потребляемой на отопление и вентиляцию здания [8]. Согласно российским нормативным документам (СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»; СП 367.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения»; ГОСТ 26602.4–2012 «Блоки оконные и дверные. Метод определения общего коэффициента пропускания света»), для учета влияния светопрозрачных ограждающих конструкций на пропускание солнечной радиации проводится расчет коэффициента общего пропускания солнечной радиации оконными блоками. Этот коэффициент рассчитывается как произведение коэффициента светопропускания светопрозрачной части оконного блока; коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока; коэффициента, учитывающего потери света в несущих конструкциях; коэффициента, учитывающего потери света в солнцезащитных устройствах.

Первый коэффициент определяется по справочным данным, либо по данным производителя остекления, либо экспериментально [19, 20]. Второй коэффициент, учитывающий потери света в переплетах оконного блока, рассчитывается аналитически по формулам [21]. Однако формула для его расчета вызывает затруднения ввиду ее громоздкости. Поэтому целью настоящей работы является обоснованное упрощение расчетной формулы указанного коэффициента.

#### История развития метода расчета коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока

Аналитический метод определения светопропускания оконного блока впервые был предложен Н.Н. Киреевым [22, 23], который рассматривал прохождение рассеянного света при определенных допущениях и сформулировал общее выражение для коэффициента светопередачи через оконный блок:

$$\tau_2 = \frac{\Phi_1}{\Phi_0} = f(s) \sum_{i=1}^n [\omega_i (\xi_i + \eta_i)], \quad (1)$$

где  $\Phi_1$  – световой поток, прошедший через ячейки переплета оконного блока в помещение, лм;  $\Phi_0$  – световой поток, упавший на оконный блок из наружного пространства, лм;  $f(s)$  – параметр, учитывающий затенение света в направлении нормали к плоскости оконного блока, доли ед.;  $\omega_i$  – параметр, учитывающий удельный вес по площади  $i$ -й ячейки блока,

доли ед.;  $\xi_i$  – доля прямого светового потока, упавшего на  $i$ -ю ячейку и прошедшего непосредственно в помещение, доли ед.;  $\eta_i$  – доля прямого светового потока, который, упав на внутренние грани  $i$ -й ячейки, пройдет после многократных отражений в помещении, доли ед.

Решая уравнение (1), Н.Н. Киреев [23] получил выражение для коэффициента светопередачи через оконный блок при диффузном отражении светового потока стенками ячеек блока:

$$\tau_2 = \frac{1}{A_0} \sum_{i=1}^n \left\{ \left( \sqrt{A_i^2 + \sigma_i^2} - \sigma_i \right) + \frac{(A_i + \sigma_i - \sqrt{A_i^2 + \sigma_i^2})^2 \rho}{\sigma_i(1-\rho) + 2(A_i + \sigma_i - \sqrt{A_i^2 + \sigma_i^2})\rho} \right\}, \quad (2)$$

где  $A_0$  – площадь светового проема по наружному измерению в свету, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – коэффициент диффузного отражения внутренних граней ячейки, отн. ед.;  $A_i = a_i \cdot b_i$  – площадь  $i$ -й ячейки в свету, м<sup>2</sup>;  $a_i$ ,  $b_i$  – ширина и высота  $i$ -й ячейки в свету, м;  $\sigma_i = d_i(a_i + b_i)$  – площадь полупериметра торцевых стенок  $i$ -й ячейки переплета, м<sup>2</sup>;  $d_i$  – суммарная толщина  $i$ -й ячейки переплета, м.

Однако данное выражение подходит только для оконных блоков прямоугольной формы.

В работах В.А. Земцова [24] проводились исследования по светопропусканию световодов, которые затем были адаптированы для расчетов светопропускания оконных блоков.

При этом общий подход к определению коэффициента светопередачи через оконный блок остается неизменным и описывается соотношением (1). В соответствии с [21, 24]  $\tau_2$  выражается общим соотношением:

$$\tau_2 = \frac{1}{A_0} \sum_{i=1}^n [A_i (K_{\Gamma i} + K_{\Pi i})], \quad (3)$$

где  $A_0$  – площадь оконного блока по наружному обмеру, м<sup>2</sup>;  $A_i = a_i \cdot b_i$  – площадь  $i$ -й ячейки в свету, м<sup>2</sup>;  $a_i$ ,  $b_i$  – ширина и высота  $i$ -й ячейки в свету, м;  $K_{\Gamma i}$  – составляющая коэффициента светопередачи, зависящая от геометрических размеров ячейки переплета [21]:

$$K_{\Gamma i} = 0,25 \left[ \sqrt{\left( \frac{1}{\beta_i} \right)^2 + 4} - \left( \frac{1}{\beta_i} \right) \right], \quad (4)$$

$K_{\Pi i}$  – составляющая коэффициента светопередачи, зависящая от отражательных свойств внутренних граней ячеек переплета [21]:

$$K_{\Pi i} = \frac{\beta_i \cdot \rho \cdot (1 - K_{\Gamma i})^2}{2 - \rho \cdot [K_{\Gamma i} \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]}. \quad (5)$$

Подстановка (4) и (5) в (3) приводит к общей формуле коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока:

$$\tau_2 = \frac{1}{A_0} \sum_{i=1}^n A_i \cdot \left\{ 0,25 \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{\beta_i}\right)^2 + 4} - \left(\frac{1}{\beta_i}\right) \right]^2 + \frac{\beta_i \cdot \rho \cdot (1 - K_{\Gamma})^2}{2 - \rho \cdot [K_{\Gamma} \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]} \right\}, \quad (6)$$

где  $\beta_i$  – индекс  $i$ -й ячейки переплета, отн. ед.; для переплета прямоугольной формы  $\beta_i = 2a_i b_i / (d_i \sqrt{\pi} (a_i + b_i))$ , для переплета круглой формы  $\beta_i = r_i / d_i$ ;  $a_i$  – толщина  $i$ -й ячейки переплета, м;  $r$  – радиус ячейки переплета, м. Поясним, что изначально в работах [24] вывод проводился для световодов цилиндрической формы, поэтому выражение для индекса  $i$ -й ячейки переплета прямоугольной формы приводилось к выражению для индекса ячейки цилиндрической формы, эквивалентной по светопропусканию, это привело к добавке в формуле  $\beta_i$  в виде  $\frac{2}{\sqrt{\pi}} = 1,13$ .

Формула (6) применима для ячеек любой конфигурации. В данной работе проводится дальнейшая адаптация формулы (6) для инженерных расчетов.

#### Адаптация формулы расчета коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконного блока, для инженерных расчетов

Формула (6) показывает, что коэффициент  $\tau_2$  равен отношению суммарной площади ячеек в свету к площади оконного блока по наружному обмеру, умноженному на поправочный коэффициент, учитывающий светопередачу в переплетах ячеек оконного блока,  $\tau_2^*$ , доли ед. Тогда представим формулу (6) в виде:

$$\tau_2 = \frac{\sum_i A_i}{A_0} \tau_2^*. \quad (7)$$

Соотнеся (6) и (7), записываем выражение для коэффициента, учитывающего светопередачу в переплетах ячеек оконного блока:

$$\tau_{2a}^* = 0,25 \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{\beta_i}\right)^2 + 4} - \left(\frac{1}{\beta_i}\right) \right]^2 + \frac{\beta_i \cdot \rho \cdot (1 - K_{\Gamma})^2}{2 - \rho \cdot [K_{\Gamma} \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]}. \quad (8)$$

Далее определяется, насколько значимо влияние переплетов ячеек оконного блока. Для этого определяется, насколько отличается расчет  $\tau_2$  без учета влияния переплетов и с учетом:

$$\Delta \tau_2 = \frac{\sum_i A_i}{A_0} - \frac{\sum_i A_i}{A_0} \tau_{2a}^* = \frac{\sum_i A_i}{A_0} (1 - \tau_{2a}^*). \quad (9)$$

В табл. 1 приведены значения  $(1 - \tau_{2a}^*)$ , показывающие величину отличий в двух способах расчета, а именно чем ближе значение данной величины к нулю и соответственно коэффициента  $\tau_{2a}^*$  к единице, тем различия меньше. Примем допустимое различие в 5%. Отличие от единицы коэффициента  $\tau_{2a}^*$  незначительно для светопрозрачных ячеек размером больше, чем  $1 \times 1,5$  м, и составляет менее 0,03 доли единицы, т. е. менее 3% от единицы. Тогда принимается, что

Таблица 1  
Table 1

Отличие в расчетах  $\tau_2$  без учета влияния переплетов и с учетом  
Difference in the calculations of  $\tau_2$  without taking into account the effect of frames and taking into account

Ширина ячейки, а, м	Величина $(1 - \tau_{2a}^*)$ (при различной высоте ячейки b, м)				
	0,1	0,5	1,5	2	2,5
0,1	0,52	0,34	0,3	0,3	0,3
0,5	0,34	0,1	0,06	0,05	0,05
1,5	0,3	0,06	0,02	0,02	0,02
2	0,3	0,05	0,02	0,02	0,01
2,5	0,3	0,05	0,02	0,01	0,01

для светопрозрачных ячеек размером больше, чем  $1 \times 1,5$  м, допустимо проводить расчет  $\tau_2$  как отношение суммарной площади светопрозрачных ячеек к площади окна. Для ячеек с размером меньшим, чем  $1 \times 1,5$  м, следует воспользоваться вычислением по формулам. Однако для удобства вычислений проведем упрощение формулы (8).

Далее преобразуется выражение (8), при этом учитывается, что оно было получено для световодов, в конструкции которых величина  $d_i$  достаточно большая. В оконных блоках эта величина равна примерно 0,1 м и меньше согласно данным производителей ПВХ-окон. Вычисляем два крайних значения величины  $(\frac{1}{\beta_i})^2$ , близких к самому большому и к самому маленькому значениям. Примем размеры ячейки  $2,5 \times 2,5$  м, толщину переплета 0,1 м. Тогда:

$$\left(\frac{1}{\beta_i}\right)^2 = \left(\frac{d_i \sqrt{\pi} (a_i + b_i)}{2 a_i b_i}\right)^2 = \left(\frac{0,1 \sqrt{\pi} (2,5 + 2,5)}{2 \cdot 2,5 \cdot 2,5}\right)^2 = 0,005. \quad (10)$$

Примем размеры ячейки  $0,3 \times 0,3$  м, толщину переплета 0,072 м. Тогда:

$$\left(\frac{1}{\beta_i}\right)^2 = \left(\frac{d_i \sqrt{\pi} (a_i + b_i)}{2 a_i b_i}\right)^2 = \left(\frac{0,072 \sqrt{\pi} (0,3 + 0,3)}{2 \cdot 0,3 \cdot 0,3}\right)^2 = 0,17. \quad (11)$$

Аналогичные расчеты можно привести для ячеек круглой формы. Тогда выражение (4) упрощается с учетом того, что величина  $(\frac{1}{\beta_i})^2$  составляет  $\alpha$ -малое от соседних членов:

$$\begin{aligned} K_{\Gamma_i} &= 0,25 \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{\beta_i}\right)^2 + 4} - \left(\frac{1}{\beta_i}\right) \right]^2 \\ &= 0,25 \left[ \left(\frac{1}{\beta_i}\right)^2 + 4 - 2 \sqrt{\left(\frac{1}{\beta_i}\right)^2 + 4} \cdot \left(\frac{1}{\beta_i}\right) + \left(\frac{1}{\beta_i}\right)^2 \right] = \\ &= 0,25 \left[ 4 - 2 \cdot \frac{2}{\beta_i} \right] \approx 1 - \frac{1}{\beta_i}. \end{aligned} \quad (12)$$

Учитывая (12), упрощаем выражение (5):

$$\begin{aligned} K_{\Pi_i} &= \frac{\beta_i \cdot \rho \cdot (1 - K_{\Gamma_i})^2}{2 - \rho \cdot [K_{\Gamma_i} \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]} = \frac{\beta_i \cdot \rho \cdot (1 - \frac{1}{\beta_i})^2}{2 - \rho \cdot [(1 - \frac{1}{\beta_i}) \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]} = \\ &= \frac{\rho / \beta_i}{2 - \rho \cdot [(1 - \frac{1}{\beta_i}) \cdot (2 + \beta_i) - \beta_i]} = \frac{\rho / \beta_i}{2 - \rho \cdot [1 - \frac{2}{\beta_i}]}. \end{aligned} \quad (13)$$

Тогда выражение (8) преобразуется к виду:

$$\tau_{26}^* = 1 - \frac{1}{\beta_i} + \frac{\rho/\beta_i}{2 - \rho \cdot [1 - 2/\beta_i]} = 1 - \frac{2 - 2\rho + 2\rho/\beta_i}{\beta_i(2 - \rho + 2\rho/\beta_i)} \quad (14)$$

В выражении (14) имеются два одинаковых члена  $2\rho/\beta_i$  в числителе и знаменателе. Исследуем одновременное изменение числителя и знаменателя при одновременном исключении из них величины  $2\rho/\beta_i$ .

При этом коэффициент без величины  $2\rho/\beta_i$  обозначается следующим образом:

$$\tau_{26}^* = 1 - \frac{2(1-\rho)}{\beta_i(2-\rho)} \quad (15)$$

Следует сравнить величины  $\tau_{26}^*$  и  $\tau_{2b}^*$  в процентном соотношении (табл. 2).

Из данных табл. 2 следует, что расчет по формуле (15) будет давать более высокие значения, чем расчет по формуле (14), а значит, более высокие значения  $\tau_2$ , что следует учесть в дальнейшем. Для ячеек, имеющих большие размеры (более, чем  $1 \times 1$  м), различия в расчетах незначительны. В целом различия менее 7%. Значит, преобразование к виду (15) допустимо.

В формуле (15) выражение  $\frac{2(1-\rho)}{(2-\rho)} = 2(1 - \frac{1}{(2-\rho)})$  легко аппроксимировать линейной функцией при изменении  $\rho$  от 0 до 1. Тогда запишем выражение (15):

$$\tau_{26}^* = 1 - \frac{1,09 - 0,94 \cdot \rho}{\beta_i} \quad (16)$$

### Сравнительный анализ полученных формул для расчета коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконного блока

Проведем сравнительный анализ полученных расчетных формул (14), (15) и (16) с исходной формулой (8) при размерах светопрозрачных ячеек меньших, чем  $1 \times 1,5$  м, согласно выбранному выше диапазону размеров. Для этого вычислим относительные погрешности вычислений по формулам (14), (15) и (16) в сравнении с формулой (8).

Для анализа данных табл. 3–5 примем допустимую погрешность 5% и выберем вариант упрощенной формулы, подходящий для инженерных расчетов.

Из данных табл. 3–5 следует, что результаты расчетов по формуле (14) наиболее близки к результатам расчетов по исходной формуле (8). Отличия в расчетах по формуле (14) составляют менее 5% для размеров ячеек больших, чем  $0,3 \times 0,3$  м (если рассматривать главную диагональ в табл. 3). Заметим, что расчет по формуле (14) является заниженным, это приведет к снижению расчетного значения КЕО и может вызвать трудности для достижения нормируемого значения.

Из данных табл. 4–5 следует, что результаты расчета по формулам (15) и (16) и исходной формуле (8) составляют около 5% и ниже при размерах ячеек боль-

Таблица 2  
Table 2

Сравнение величин  $\tau_{26}^*$  и  $\tau_{2b}^*$  в процентном соотношении при  $d_i=0,072$  м  
Comparison of the values  $\tau_{26}^*$  and  $\tau_{2b}^*$  as a percentage at  $d_i=0,072$  м

Ширина ячейки, а, м	$\frac{\tau_{26}^* - \tau_{2b}^*}{\tau_{26}^*} \cdot 100\%$ при высоте ячейки b, м				
	0,5	1	1,5	2	2,5
0,5	-6,9	-4	-3,2	-2,9	-2,7
1	-4	-1,9	-1,3	-1,1	-1
1,5	-3,2	-1,3	-0,9	-0,7	-0,6
2	-2,9	-1,1	-0,7	-0,5	-0,4
2,5	-2,7	-1	-0,6	-0,4	-0,3

Таблица 3  
Table 3

Сравнение вычислений коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока, по исходной формуле (8),  $\tau_{2a}^*$  и по преобразованной формуле (14),  $\tau_{26}^*$  при  $d_i=0,072$  м,  $\rho=0,9$   
Comparison of the calculation of the coefficient taking into account the loss of light in the frames of the window block, according to the original formula (8),  $\tau_{2a}^*$  and according to the transformed formula (14),  $\tau_{26}^*$  at  $d_i=0,072$  м,  $\rho=0,9$

Размер ячейки, м	$\delta = \frac{\tau_{2a}^* - \tau_{26}^*}{\tau_{2a}^*} \cdot 100\%$ при высоте ячейки b, м			
	0,1	0,5	1	1,5
a	87	22,1	17,1	16,1
0,1	22,1	1,2	0,5	0,4
0,5	17,1	0,5	0,1	0,1
1	16,1	0,4	0,1	0,1

Таблица 4  
Table 4

Сравнение вычислений коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока, по исходной формуле (8),  $\tau_{2a}^*$  и по преобразованной формуле (15),  $\tau_{2b}^*$  при  $d_i=0,072$  м,  $\rho=0,9$   
Comparison of the calculation of the coefficient taking into account the loss of light in the frames of the window block, according to the original formula (8),  $\tau_{2a}^*$  and according to the transformed formula (14),  $\tau_{2b}^*$  at  $d_i=0,072$  м,  $\rho=0,9$

Размер ячейки, м	$\delta = \frac{\tau_{2a}^* - \tau_{2b}^*}{\tau_{2a}^*} \cdot 100\%$ при высоте ячейки b, м			
	0,1	0,5	1	1,5
a	-60,9	-30,9	-26,9	-26,1
0,1	-30,9	-5,6	-3,3	-2,8
0,5	-26,9	-3,3	-1,4	-1,1
1	-26,1	-2,8	-1,1	-0,8

ших  $0,5 \times 0,5$  м (для главных диагоналей табл. 4 и 5). Расчет по формулам (15) и (16) является завышенным. Результаты расчета по формуле (16) имеют меньшую погрешность, чем расчеты по формуле (15). Кроме того, формула (16) имеет более простое выражение.

Исходя из указанных особенностей расчетов, выберем формулу (16) и примем, что она применима для размеров ячеек, для которых в табл. 5 погрешность по абсолютной величине меньше 5% (при  $d_i=0,072$  м,  $\rho=0,9$ ).

Таблица 5  
Table 5

Сравнение вычислений коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока, по исходной формуле (8),  $\tau_{2a}^*$  и по преобразованной формуле (16),  $\tau_{2i}^*$ , при  $d_i=0,072$  м,  $\rho=0,9$

Comparison of the calculation of the coefficient taking into account the loss of light in the frames of the window block, according to the original formula (8),  $\tau_{2a}^*$  and according to the transformed formula (14),  $\tau_{2i}^*$ , at  $d_i=0,072$  m,  $\rho=0,9$

Размер ячейки, м	$\delta = \frac{\tau_{2a}^* - \tau_{2i}^*}{\tau_{2a}^*} \cdot 100\%$ при высоте ячейки $b$ , м			
$a$	0,1	0,5	1	1,5
0,1	-50,2	-26,2	-22,9	-22,1
0,5	-26,2	-4,5	-2,5	-2,1
1	-22,9	-2,5	-0,9	-0,7
1,5	-22,1	-2,1	-0,7	-0,5

Таблица 6  
Table 6

Индекс ячейки прямоугольной формы  $\beta_i$  в зависимости от размеров ячейки при  $d=0,072$  м  
Index of a rectangular cell  $\beta_i$  depending on the size of the cell at  $d=0,072$  m

Размер ячейки, м	Индекс ячейки прямоугольной формы $\beta_i$ (при $d=0,072$ м) (при значениях $b$ )			
$a$	0,1	0,5	1	1,5
0,1	0,78	1,31	1,44	1,47
0,5	1,31	3,92	5,39	5,89
1	1,44	5,39	8,62	9,95
1,5	1,47	5,88	9,95	11,75

### Предлагаемый метод расчета коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконного блока

С учетом (6) и (16) запишем выражение для расчета коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока:

$$\tau_2 = \frac{1}{A_0} \sum_i A_i \tau_{2i}^* \quad (18)$$

где  $\tau_{2i}^*$ :

– при размерах ячейки больших, чем  $1 \times 1,5$  м  $\tau_{2i}^*=1$ ;

– при размерах ячейки меньших, чем  $1 \times 1,5$  м  $\tau_{2i}^*$  вычисляется по формуле:

$$\tau_{2i}^* = \frac{(1 - \frac{1,09 - 0,94 \cdot \rho}{\beta_i})}{1 - \delta_{\tau i}} \quad (19)$$

где поправочный коэффициент  $\delta_{\tau i}$  рассчитывается исходя из данных табл. 5:

– если  $|\delta_i| \leq 5\%$ , то  $\delta_{\tau i}=0$ ;

– если  $|\delta_i| > 5\%$ , то  $\delta_{\tau i} = \delta/100$ .

Для упрощения расчетов по формуле (16) величину  $\beta_i$  можно представить в табличной форме в зависимости от размеров светопрозрачной ячейки (табл. 6).

Таким образом, проведен анализ значимости расчета коэффициента, учитывающего потери света в

переплетах оконного блока для ячеек различного размера. Показано, что для ячеек с размером большим, чем  $1 \times 1,5$  м, следует проводить расчет указанного коэффициента как отношение площади светопрозрачной части к площади всего оконного блока в свету. Для ячеек меньшего размера произведено упрощение исходной формулы, оценена относительная погрешность и сформирована таблица поправочных коэффициентов. Также для упрощения расчетов предлагается использовать табл. 6 для расчета индекса ячейки при фиксированной толщине переплета. Представленный подход к вычислению рассматриваемого коэффициента будет способствовать удобству расчетов при незначительной потере точности.

### Заключение

Таким образом, кратко рассмотрена история развития методов вычисления коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока. Выбрана формула, применимая для расчетов оконных блоков любой конфигурации. Проведен анализ значимости учета влияния толщины переплетов оконного блока при различных размерах ячеек. Показано, что при размерах ячеек больших, чем  $1 \times 1,5$  м, допустимо проводить расчет рассматриваемого коэффициента как отношение площади светопрозрачной части к площади оконного блока в свету. Для ячеек меньшего размера произведено поэтапное упрощение выбранной исходной формулы и проведен сравнительный анализ расчетов каждого этапа с расчетами по исходной формуле. Выбран последний вариант упрощения, сформирована матрица поправочных коэффициентов для светопрозрачных ячеек различного размера.

Вычисление коэффициента, учитывающего потери света в переплетах оконного блока, предлагается проводить для ячеек с размером меньшим  $1 \times 1,5$  м по упрощенной формуле с использованием табулированно представленных данных, обеспечивающих удобство и точность вычисления. Для ячеек с размером большим, чем  $1 \times 1,5$  м, следует проводить расчет указанного коэффициента как отношение площади светопрозрачной части к площади всего оконного блока в свету.

Полученный подход к вычислению рассматриваемого коэффициента может быть рекомендован для применения в расчетах естественного освещения по методике нормативного документа (СП 367.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения») и расчетах поступающей солнечной радиации по методике нормативного документа (СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты») при расширении справочных данных, необходимых для его применения.

## Список литературы

1. Zemtsov V., Korkina, E., Zemtsov V. Relative brightness of facades in the L-shaped urban buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 896, 012027. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012027>
2. Соловьёв А.К. Оценка освещения помещений с применением теории светового поля // *Светотехника*. 2013. № 4. С. 66–68.
3. Mardaljevic J., Hesching L., Lee E. Daylighting metrics and energy savings // *Lighting Research & Technology*. 2009. Vol. 41 (3), pp. 261–283. DOI: <https://doi.org/10.1177/1477153509339703>
4. Cheng Sun, Qianqian Liu and Yunsong Han. Many-objective optimization design of a public building for energy. *Daylighting and Cost Performance Improvement*. Appl. Sci. 2020. Vol. 10 (7), 2435. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10072435>
5. Nguyen P.T.K., Solovyov A.K., Pham T.H.H., Dong K.H. Confirmed method for definition of daylight climate for tropical Hanoi // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 982, pp. 35–47. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_4)
6. Esquivias P.M., Munoz C.M., Acosta I., Moreno D., Navarro J. Climate-based daylight analysis of fixed shading devices in an open-plan office // *Lighting Research & Technology*. 2016. Vol. 48 (2), pp. 205–220. DOI: <https://doi.org/10.1177/1477153514563638>
7. Brembilla E., Mardaljevic J. Climate-Based Daylight Modelling for compliance verification: Benchmarking multiple state-of-the-art methods // *Building and Environment*. 2019. Vol. 158, pp. 151–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.051>
8. Korkina E.V., Shmarov I.A., Tyulenev M.D. Effectiveness of energy-saving glazing in various climatic zones of Russia // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 869 (7), 072010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/7/072010>
9. Yunsong Han, Hong Yu, Cheng Sun. Simulation-based multiobjective optimization of timber-glass residential buildings in severe cold regions // *Sustainability*. 2017. Vol. 9 (12), 2353. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122353>
10. Zubarev K.P., Gagarin V.G. Determining the coefficient of mineral wool vapor permeability in vertical position // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. Vol. 1259, pp. 593–600. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_56)
11. Земцов В.А., Гагарина Е.В. Метод расчета светопропускания оконных блоков с использованием экспериментальных данных по светопропусканию стекол // *Светопрозрачные конструкции*. 2010. № 5–6. С. 22–25.
12. Коркина Е.В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим

## References

1. Zemtsov V., Korkina, E., Zemtsov V. Relative brightness of facades in the L-shaped urban buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 896, 012027. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012027>
2. Solovev A.K. Assessment of indoor lighting using light field theory. *Svetotekhnika*. 2013. No. 4, pp. 66–68. (In Russian).
3. Mardaljevic J., Hesching L., Lee E. Daylighting metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*. 2009. Vol. 41 (3), pp. 261–283. DOI: <https://doi.org/10.1177/1477153509339703>
4. Cheng Sun, Qianqian Liu and Yunsong Han. Many-objective optimization design of a public building for energy, *Daylighting and Cost Performance Improvement*. Appl. Sci. 2020. Vol. 10 (7), 2435. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10072435>
5. Nguyen P.T.K., Solovyov A.K., Pham T.H.H., Dong K.H. Confirmed method for definition of daylight climate for tropical Hanoi. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 982, pp. 35–47. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_4)
6. Esquivias P.M., Munoz C.M., Acosta I., Moreno D., Navarro J. Climate-based daylight analysis of fixed shading devices in an open-plan office. *Lighting Research & Technology*. 2016. Vol. 48 (2), pp. 205–220. DOI: <https://doi.org/10.1177/1477153514563638>
7. Brembilla E., Mardaljevic J. Climate-Based Daylight Modelling for compliance verification: Benchmarking multiple state-of-the-art methods. *Building and Environment*. 2019. Vol. 158, pp. 151–164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.051>
8. Korkina E.V., Shmarov I.A., Tyulenev M.D. Effectiveness of energy-saving glazing in various climatic zones of Russia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 869 (7), 072010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/7/072010>
9. Yunsong Han, Hong Yu, Cheng Sun. Simulation-based multiobjective optimization of timber-glass residential buildings in severe cold regions. *Sustainability*. 2017. Vol. 9 (12), 2353; DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122353>
10. Zubarev K.P., Gagarin V.G. Determining the coefficient of mineral wool vapor permeability in vertical position. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. Vol. 1259, pp. 593–600. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_56)
11. Zemtsov V.A., Gagarin E.V. Method for calculating the light transmission of window blocks using experimental data on the light transmission of glass. *Svetoprozrachnyye konstruktsii*. 2010. No. 5–6, pp. 22–25. (In Russian).
12. Korkina E.V. Comprehensive comparison of window blocks by lighting and heat engineering parameters.

- параметрам // *Жилищное строительство*. 2015. № 6. С. 60–62.
13. Шмаров И.А., Земцов В.А., Гагарин В.Г., Коркина Е.В. Влияние светопропускания энергосберегающих оконных блоков на соблюдение гигиенических требований // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4 (364). С. 176–181.
14. Куприянов В.Н., Халикова Ф.Р. Пропускание ультрафиолетовой радиации оконными стеклами при различных углах падения луча // *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 64–65.
15. Коркина Е.В., Шмаров И.А. Сравнительный расчет теплоступлений и теплопотерь при замене стеклопакетов в здании с целью энергосбережения // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. № 6 (1006). С. 52–53.
16. Mardaljevic J., and Christoffersen J.A. Roadmap for upgrading national / EU standards for daylight in buildings. *Proceedings of the CIE Centenary Conference*. Paris. 2013, pp. 178–187.
17. Стецкий С.В., Ларионова К.О. Расчет естественной освещенности помещений с системой верхнего естественного освещения с учетом светотехнического влияния окружающей застройки // *Вестник МГСУ*. 2014. № 12. С. 20–30.
18. Esquivias P. M., Moreno D., Navarro J. Solar radiation entering through openings: Coupled assessment of luminous and thermal aspects // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 175, pp. 208–218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.021>
19. Гагарин В.Г., Коркина Е.В., Шмаров И.А., Пастушков П.П. Исследование влияния мультифункционального покрытия стекла на спектральное пропускание света // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 2 (58). С. 90–95.
20. Коркина Е.В., Шмаров И.А., Гагарин В.Г. Классификация покрытий оконных стекол по светопропусканию // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 2. С. 118–124.
21. Земцов В.А., Гагарина Е.В. Расчетно-экспериментальный метод определения общего коэффициента пропускания света оконными блоками // *Academia. Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 472–476.
22. Киреев Н.Н. Метод расчета коэффициента светопропускания зенитных фонарей без заполнения // *Светотехника*. 1975. № 8. С. 10–12.
23. Киреев Н.Н. Аналитический метод определения светопропускания оконного блока // *Светотехника*. 1983. № 7. С. 3–4.
24. Земцов В.А. Вопросы проектирования и расчета естественного освещения помещений через зенитные фонари шахтного типа // *Светотехника*. 1990. № 10. С. 25–26.
- Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 6, pp. 60–62. (In Russian).
13. Shmarov I.A., Zemtsov V.A., Gagarin V.G., Korkina E.V. The influence of light transmission rate energy saving window units for compliance with hygienic requirements. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2016. No. 4 (364), pp. 176–181. (In Russian).
14. Kupriyanov, V.N., Khalikova F.R. Transmission of ultraviolet radiation by window panes at different angles of incidence of the beam. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 6, pp. 64–65. (In Russian).
15. Korkina E.V., Shmarov I.A. Comparative calculation of heat gain and heat loss when replacing double-glazed windows in a building in order to save energy. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2018. No. 6 (1006), pp. 52–53. (In Russian).
16. Mardaljevic J., and Christoffersen J.A. Roadmap for upgrading national / EU standards for daylight in buildings. *Proceedings of the CIE Centenary Conference*. Paris. 2013, pp. 178–187.
17. Stetskii S.V., Larionova K.O. Calculation of natural illumination of rooms with an overhead natural lighting system, taking into account the lighting influence of the surrounding buildings. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 12, pp. 20–30. (In Russian).
18. Esquivias P. M., Moreno D., Navarro J. Solar radiation entering through openings: Coupled assessment of luminous and thermal aspects. *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 175, pp. 208–218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.021>
19. Gagarin V., Korkina E., Shmarov I., Pastushkov P. Investigation of multifunctional coating on the glass on the spectral transmittance of light. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. No. 2 (58), pp. 90–95. (In Russian).
20. Korkina E.V., Shmarov I.A., Gagarin V.G. Classification of coatings of window glass on light transmission. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2017. No. 2, pp. 118–124. (In Russian).
21. Zemtsov V.A., Gagarina E.V. Calculation-experimental method determination of the general coefficient light transmission window blocks. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2010, No. 3, pp. 472–476. (In Russian).
22. Kireev N.N. Method for calculating the light transmission coefficient of skylights without filling. *Svetotekhnika*. 1975. No. 8, pp. 10–12. (In Russian).
23. Kireev N.N. Analytical method for determining the light transmission of a window block. *Svetotekhnika*. 1983. No. 7, pp. 3–4. (In Russian).
24. Zemtsov V.A. Issues of design and calculation of natural lighting of premises through mine-type skylights. *Svetotekhnika*. 1990. No. 10, pp. 25–26. (In Russian).

УДК 624.15

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-18-24>

В.А. ИЛЬИЧЕВ<sup>1</sup>, академик РААСН, д-р техн. наук (ilyichev@bk.ru);  
Н.С. НИКИФОРОВА<sup>2</sup>, д-р техн. наук (n.s.nikiforova@mail.ru);  
А.В. КОННОВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук (artem.konnov@gmail.com)

<sup>1</sup> Российская академия архитектуры и строительных наук (127025, г. Москва, ул. Новый Арбат, 19)

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

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

## Прогноз изменения температурного состояния основания здания в условиях потепления климата

*Изменение состояния вечной мерзлоты и ее деградация в результате потепления климата в России и мире оказывают непосредственное влияние на расположенные на ней строительные объекты. Наблюдается тенденция увеличения деформированности и аварийности зданий, расположенных в криолитозоне. Целью данного исследования является оценка влияния потепления климата на изменение температурного состояния оснований зданий и сооружений. Произведено моделирование изменения температурного состояния основания расположенного в Норильске здания при потеплении климата с увеличением температуры воздуха за период 60 лет (2000–2059 гг.) согласно региональной климатической модели Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. Получены значения увеличения сезонно-талого слоя (при большей скорости увеличения, чем вне контура здания), расширения чаши оттаивания, роста среднегодовой температуры многолетнемерзлых грунтов. Определены деформации основания (осадка и относительная разность осадок), обусловленные действием собственного веса оттаивающего грунта. Сделан вывод о нарушении эксплуатационной пригодности существующих зданий к концу моделируемого временного периода. Доказано, что потепление климата в Норильске является значимым фактором возникновения аварийности, который необходимо учитывать при расчете оснований на весь период строительства и эксплуатации объектов.*

**Ключевые слова:** многолетнемерзлые грунты, криолитозона, потепление климата, тепловое влияние здания, сезонно-талый слой, оттаивание грунта.

**Для цитирования:** Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Коннов А.В. Прогноз изменения температурного состояния основания здания в условиях потепления климата // *Жилищное строительство*. 2021. № 6. С. 18–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-18-24>

V.A. ILYICHEV<sup>1</sup>, RAACS Academic, Doctor of Sciences (Engineering) (ilyichev@bk.ru);  
N.S. NIKIFOROVA<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (n.s.nikiforova@mail.ru);  
A.V. KONNOV<sup>3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (artem.konnov@gmail.com)

<sup>1</sup> Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (19, New Arbat Street, Moscow, 127025, Russian Federation)

<sup>2</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

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

### Forecast of Changes in the Temperature State of the Building Base in Climate Warming

Changes in the state of permafrost and its degradation as a result of climate warming in Russia and the world have a direct impact on the construction objects located on it. There is a tendency to increase the deformity and accident rate of buildings located in the cryolithozone. The purpose of this study was to assess the impact of climate warming on the change in the temperature state of the foundations of buildings and structures. The changes in the temperature state of the base of the building located in Norilsk were modeled when warming the climate with an increase in air temperature over a period of 60 years (2000–2059) according to the regional climate model of the Voeikov Main Geophysical Observatory. The values of the increase in the seasonal thaw layer (at a higher rate of increase than outside the building contour), the expansion of the thawing bowl, and the increase in the average annual temperature of permafrost soils are obtained. The deformations of the base (sediment and the relative difference of sediments) caused by the action of the own weight of the thawing soil are determined. The conclusion is made about the violation of the operational suitability of existing buildings by the end of the simulated time period. It is proved that the warming of the climate in Norilsk is a significant factor in the occurrence of accidents, which must be taken into account when calculating the grounds for the entire period of construction and operation of facilities.

**Keywords:** permafrost, cryolithozone, climate warming, thermal influence of building, seasonally thawed layer, soil thawing.

**For citation:** Ilyichev V.A., Nikiforova N.S., Konnov A.V. Forecast of changes in the temperature state of the building base in climate warming. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 6, pp. 18–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-18-24>

Процессы потепления климата на планете оказывают влияние на многие природные системы, в том числе на криосферу. Многолетняя мерзлота нагревается и оттаивает, а в XXI в. прогнозируется широко-масштабный характер этих процессов.

Требуемое увеличение проектной длины свай в криолитозоне в условиях потепления климата с течением времени для вновь проектируемого здания в целях обеспечения эксплуатационной надежности рассматривалось в работе Л.Н. Хрусталева и др., 1993 г. [1].

На потепление климата как фактор, вызывающий вытаивание подземных льдов и приводящий к деградации вечной мерзлоты, указывалось в 2003 г. В.А. Ильичевым и др. [2]. Авторы отмечали его отрицательное влияние на устойчивое развитие северных городов в связи со значительным перемещением границы вечной мерзлоты на север, например в Восточной Сибири, на 2–3 тыс. км.

В этой же работе отмечается, что деградация вечной мерзлоты оказывает непосредственное влияние на расположенные на ней строительные объекты. Причинами повреждения зданий являются: ошибки проектирования и строительства; факторы техногенного характера; несоблюдение правил эксплуатации [2], а также указанное выше воздействие климатического потепления на многолетнемерзлые грунты. Сделанный прогноз оправдался и подтвержден последующими исследованиями деформированности и аварийности зданий [3].

Изменение климата России характеризуется как продолжающееся потепление. На территории РФ к середине XXI в. многолетняя мерзлота протает на большей части севера европейской части. В Западной Сибири граница распространения островов многолетнемерзлых пород с поверхности будет проходить по Северному полярному кругу. К концу XXI в. они полностью оттают с поверхности на 50% площади современной криолитозоны [4].

Общее потепление на земном шаре в большей мере сконцентрировано в полярных областях, что также подтверждается международными исследованиями. Даже если глобальное потепление будет сдержано на уровне значительно ниже 2°C, то к 2100 г. растает примерно 25% приповерхностной (3–4 м глубиной) многолетней мерзлоты. Если выбросы парниковых газов будут по-прежнему сильно увеличиваться, существует вероятность того, что примерно 70% всей приповерхностной многолетней мерзлоты может быть утрачено [5].

В России потепление грунтов в большей мере опасно для существующей традиционной застройки и действующих промышленных производств. Обратимся для примера к грунтовым условиям Норильска.

Число выявленных деформированных объектов в Норильском районе за последние 10 лет значительно превысило их количество за предыдущие 50 лет [6]. По данным организаций, осуществляющих мерзлотно-технический надзор, ориентировочно 30% жилых зданий стоит на особом контроле. При неудовлетворительной эксплуатации и дальнейшем прогрессировании существующих деформаций не исключено выселение проживающих в них людей в ближайшее время [7].

Снижение несущей способности свайного основания к 2020 г. для зданий 1960–1980-х гг. достигло 10–25% вследствие деградации вечной мерзлоты [8].

Актуальной является оценка влияния климатических изменений, прогнозируемых по современным моделям (СМIP5, региональная модель изменений климата России Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова), на состояние оснований зданий. Требуется установить степень опасности этих изменений для существующих зданий и сооружений и необходимость учета потепления климата в прогнозных оценках при расчете мерзлых оснований на весь период строительства и эксплуатации новых зданий.

Целью данного исследования является определение влияния потепления климата на изменение температурного состояния оснований зданий и сооружений в Норильске, имеющем как значительный объем сложившейся застройки, так и перспективы для дальнейшего развития. Необходимо выявить значимость увеличения сезонно-талого слоя (СТС) для безопасной эксплуатации существующих зданий и при проектировании новых объектов

Ставится задача определить изменение параметров состояния многолетнемерзлых грунтов (ММГ) основания зданий и сооружений, возведенных по I принципу строительства на ММГ, под воздействием потепления климата, а также составляющую осадки основания, обусловленную действием собственного веса оттаивающего грунта.

#### **Метод прогнозирования изменения температурного состояния основания здания**

Прогноз температурного состояния основания существующего здания и увеличения толщины СТС осуществлялся численным методом при помощи программного комплекса для тепловых расчетов грунтов Frost 3D.

Моделировался массив грунта глубиной 30 м, вмещающий свайный фундамент здания габаритами 12×24 м, построенного по I принципу строительства на ММГ. Фундамент состоит из свай длиной 15 м, размером 0,35×0,35 м, объединенных плитным ростверком. Растепление грунта от устройства свай и влияние окружающей застройки не учитывалось.

Температурный режим вентилируемого подполья рассчитывался согласно Приложению Д СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». Среднегодовая температура воздуха в подполье составила  $-1,9^{\circ}\text{C}$ . Начальные месячные значения температуры воздуха в подполье задавались исходя из условия обеспечения этого значения. Моделирование производилось для случая нарушения правил эксплуатации вентилируемых подполий в летний период, когда не производится их закрытие.

Датой постройки здания был принят 1981 г. Моделировалось изменение распределения температуры в основании здания для временного промежутка 1981–2059 гг. До 2020 г. температура воздуха была задана по архивным данным метеорологической станции в Норильске, размещенным на портале [pogodaiklimat.ru](http://pogodaiklimat.ru) (рис. 1).

Принимая во внимание небольшую площадь изучаемого района, в качестве источника прогнозируемых значений температуры после 2020 г. была выбрана региональная климатическая модель будущих изменений климата на территории России Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) [9–11]. Эта модель характеризуется высоким пространственным разрешением (25 км). Значения температуры задавались согласно карте прогноза аномалий Климатического центра Росгидромета, основанной на ансамблевых расчетах по данной модели, при сценарии изменения содержания парниковых газов и аэрозолей в атмосфере RCP 8.5. Для Норильского района повышение температуры приземного воздуха (средние за 10 лет значения климатических характеристик) для 2050–2059 гг. по отношению к базовому климатическому периоду 1990–1999 гг. составило  $7^{\circ}\text{C}$  для зимнего периода (рис. 2),  $2^{\circ}\text{C}$  – для летнего. Для рассматриваемого района по архивным данным метеорологической станции Норильска были вычислены среднемесячные значения температуры воздуха за период 1990–1999 гг. и получены их прогнозируемые значения к 2059 г. с учетом потепления климата. Для расчетов было принято, что до этих значений температура возрастает линейно. Прирост температуры в год составил: в зимний период  $0,12^{\circ}\text{C}$ , в летний период  $0,03^{\circ}\text{C}$ .

В качестве исходных данных, оказывающих влияние на теплообмен на поверхности грунта, задавались скорость ветра и высота снежного покрова по многолетним данным наблюдений без учета глобального потепления климата.

Для начальной итерации моделирования принималось тепловое распределение по глубине грунта по данным [12] для скважины в районе Талнаха, зафиксированное в апреле 1981 г.

Основанием сооружений Норильского района служат отложения Вальковской озерно-аллювиальной террасы – дисперсные (преимущественно суглинистые и глинистые) грунты льдистые ( $I = 0,3–0,6$ ) [13]. В ходе исследования рассматривался однородный грунтовый массив, сложенный суглинком с теплофизическими характеристиками, аналогичными использованным В.И. Гребенцом и В.А. Исаковым [14] для теплофизического моделирования дороги на участке Норильск–Талнах.

### Результаты моделирования

Для временного промежутка 1981–2059 гг. в программе Frost 3D получено температурное распределение в массиве грунта с интервалом в один месяц. До 2000 г. происходил процесс стабилизации температурного режима основания здания. Изменение температурного состояния основания и толщины СТС изучалось при повышении температуры воздуха в период 2000–2059 гг., для которого значения до 2020 г. включительно были заданы по данным метеорологических наблюдений, значения после 2020 г. – по прогнозным данным региональной климатической модели ГГО.

Распределение температуры в основании здания в начале и конце рассчитанного 60-летнего временного промежутка для месяца с наибольшей толщиной СТС приведено на рис. 3, 4. В отличие от температурного режима грунта вне контура здания, где наибольшая толщина СТС к 2059 г. получена в сентябре, под зданием и вблизи него наибольшая толщина СТС зафиксирована в октябре (рис. 4). Далее все показатели состояния ММГ в основании здания приводятся для этого месяца.

Для 2000 г. толщина СТС вне контура здания составляет 1,1 м, под серединой здания – 1,5 м. Для 2059 г. толщина СТС вне контура здания составляет 1,6 м, под серединой здания – 3,5 м. Получена значительная разница между скоростями увеличения СТС, вызванного потеплением климата:  $0,8$  см/год (вне контура здания) и  $3$  см/год (под серединой здания). Увеличение СТС под серединой здания на 2 м согласуется с результатом, полученным А.Г. Алексеевым и Д.В. Зориним [15] при прогнозировании по климатической модели CMIP5 температуры грунтов в основании под зданием через 50 лет: 2–3,5 м.

Вместе с потеплением климата зона теплового влияния здания увеличилась не только в глубь массива грунта, но и в горизонтальном направлении, затрагивая близлежащую к нему территорию. Моделирование показало увеличение горизонтального размера чаши оттаивания под зданием на 2,4 м (с 14,8 до 17,2 м).

Произошло повышение среднегодовой температуры ММГ под серединой здания с  $-2,7$  до  $-0,1^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 1. Среднегодовая температура воздуха по данным наблюдений в Норильске и тренд ее повышения

Fig. 1. Average annual air temperature according to observational data in Norilsk and it's rising trend



Рис. 2. Карта прогноза температуры у поверхности в летний период [9–11]

Fig. 2. Forecast map of near-surface temperature in the summer period [9–11]

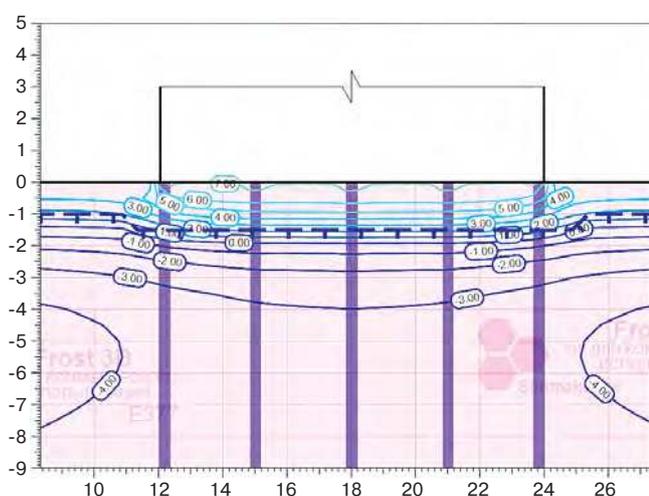


Рис. 3. Изолинии температуры основания и фронт промерзания на сентябрь 2000 г.

Fig. 3. Temperature contour lines in soil base and permafrost table in September 2000

Из графиков распределения температуры в грунтовом массиве, представленных на рис. 5, следует, что тепловое влияние здания приводит к смещению кривой распределения температуры по глубине грунтового массива в сторону положительных значений приблизительно на 2°C.

Согласно п. 7.3.6 СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» осадку оттаивающего в процессе эксплуатации сооружения основания следует определять по формуле 7.19 СП 25.13330.2020:

$$s = s_{th} + s_p, \quad (1)$$

где  $s_{th}$  – составляющая осадки основания, обусловленная действием собственного веса оттаивающего грунта;  $s_p$  – составляющая осадки основания, обусловленная дополнительным давлением на грунт от действия веса сооружения.

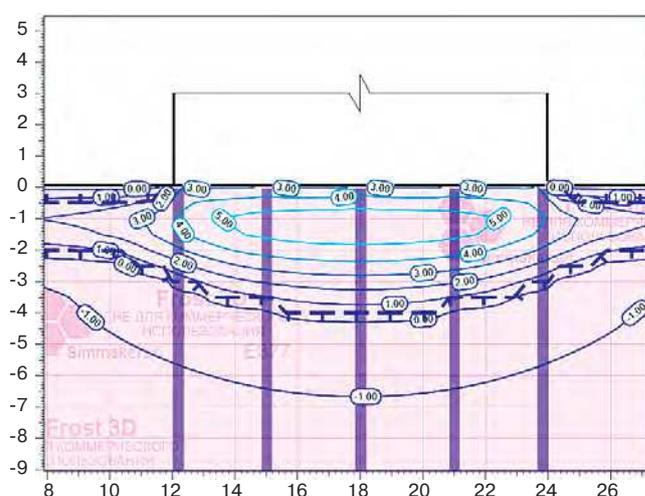


Рис. 4. Изолинии температуры основания и фронт промерзания на октябрь 2059 г.

Fig. 4. Temperature contour lines in soil base and permafrost table in October 2059

Для оценки влияния изменения температурного режима грунтов основания, вызванного потеплением климата, на эксплуатацию существующих зданий на фундаментах мелкого заложения, возведенных по I принципу строительства на ММГ, рассматривалась составляющая осадки основания, обусловленная действием собственного веса оттаивающего грунта  $s_{th}$ . Для достаточно редкого применения фундаментов зданий с вентилируемым подпольем на естественном основании осадку рекомендуется вычислять по формуле (1).

Расчет выполнялся с помощью Калькулятора осадки программы Frost 3D с использованием модифицированной методики СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», которая позволяет выполнять вычисления на трехмерной конечно-разностной расчетной сетке.

Прочностные свойства суглинистого грунта задавались из опыта строительства в сходных инженерно-геологических условиях [16].

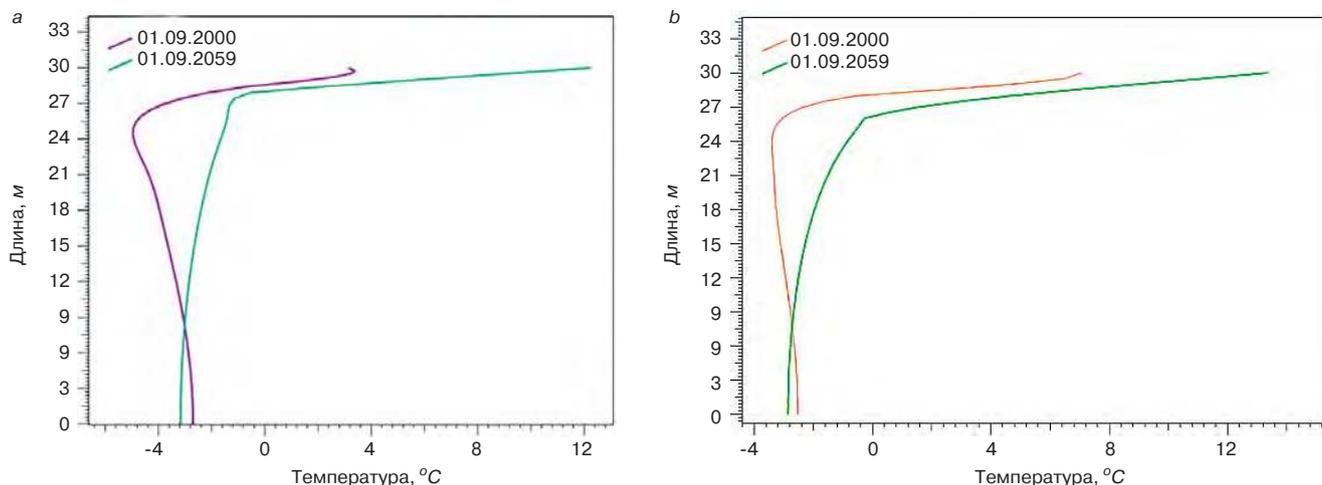


Рис. 5. Распределение температуры по глубине в массиве грунта под зданием на сентябрь 2000 и 2059 гг. без учета (а) и с учетом (б) теплового влияния здания

Fig. 5. Temperature distribution by depth in the soil mass under the building for September 2000 and 2059 without (a) and with considering (b) the thermal influence of the building

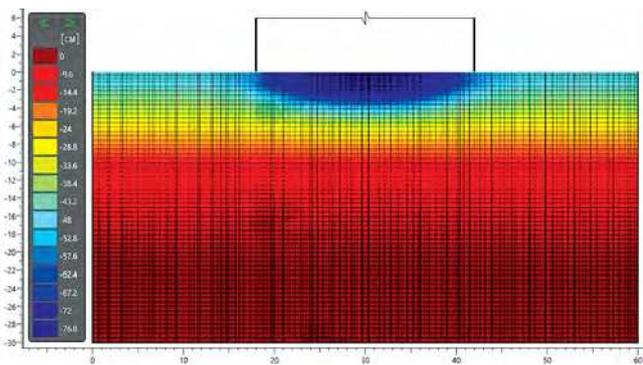


Рис. 6. Осадка массива грунта в 2059 г. на продольном разрезе расчетной области

Fig. 6. Settlement of the soil mass in 2059 on the longitudinal section of the calculated area

Полученные изополя осадок массива грунта, вызванных потеплением климата за период 60 лет (до 2059 г.), с учетом теплового влияния здания приведены на рис. 6. Максимальная осадка грунтов основания здания под действием собственного веса грунта составила 76,8 см, относительная разность осадок между серединой здания и краями в продольном направлении – 0,016, в поперечном – 0,019. При таких величинах деформаций основания здание придет в аварийное состояние.

Полученные результаты по осадке грунта под действием собственного веса при оттаивании могут быть полезны для определения отрицательного трения при расчете свайных фундаментов. Однако в целом вопрос расчета осадки свайных фундаментов в ММГ при увеличении толщины СТС зависит от множества факторов, которые в данной статье не обсуждаются.

### Выводы

Моделирование изменения температурного состояния основания здания шириной 12 м в Норильске

при потеплении климата с увеличением температуры воздуха согласно региональной климатической модели Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова до середины XXI в. показало увеличение СТС под серединой здания на 2 м, расширение чаши оттаивания на 2,4 м при росте среднегодовой температуры на поверхности ММГ под серединой здания с  $-2,7$  до  $-0,1^{\circ}\text{C}$ .

Получена существенная разница между скоростями увеличения СТС, вызванного потеплением климата, вне контура здания ( $0,8$  см/год) и под серединой здания ( $3$  см/год).

Вследствие изменения под воздействием потепления климата состояния ММГ при наличии теплового влияния от малонагруженного здания с фундаментом на естественном основании с проветриваемым подпольем возникают значительные составляющие деформаций основания (осадка и относительная разность осадок), обусловленные действием собственного веса оттаивающего грунта, которые приведут к нарушению эксплуатационной пригодности и, возможно, к разрушению существующих на этой территории зданий и сооружений.

В Норильске и в городах со сходными инженерными и геокриологическими условиями потепление климата должно рассматриваться как значимый фактор возникновения аварийности, который необходимо учитывать при расчете оснований в криолитозоне на весь период строительства и эксплуатации объектов.

Подобные деформации будут воздействовать на коммуникации в зоне влияния чаши оттаивания в связи с увеличением ее размеров под зданием вследствие потепления климата, что необходимо учитывать при проектировании.

## Список литературы

1. Хрусталева Л.Н., Пустовойт Г.П., Емельянова Л.В. Надежность и долговечность оснований инженерных сооружений на вечномёрзлых грунтах в условиях глобального потепления климата // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1993. № 3. С. 10–13.
2. Ильичев В.А. и др. Перспективы развития поселений Севера в современных условиях. М.: РААСН, 2003. 151 с.
3. Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // *Криосфера Земли*. 2012. № 1. С. 22–32.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1007 с.
5. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Geneva: IPCC Secretariat, 2019.
6. Grebenets V., Streletskiy D., Shiklomanov N. Geotechnical safety issues in the cities of Polar Regions // *Geography, Environment, Sustainability Journal*. 2012. Vol. 5. No. 3, pp. 104–119.
7. Петухова Ж.Г., Петухов М.В. Успехи и проблемы города Норильска, построенного на широтах Крайнего Севера в условиях распространения вечной мерзлоты // *Научный вестник Арктики*. 2019. № 7. С. 44–46.
8. Nikiforova N.S., Konnov A.V. Influence of permafrost degradation on piles bearing capacity. // *All-Russian conference with international participation Deep foundations and geotechnical problems of territories*. Perm. 2020.
9. Школьник И.М., Ефимов С.В. Региональная модель нового поколения для территории северной Евразии // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. 2015. Вып. 576. С. 201–211.
10. Катцов В.М. и др. Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Ч. 1. Постановка задачи и численные эксперименты // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. 2016. Вып. 583. С. 7–29.
11. Катцов В.М. и др. Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения кли-

## References

1. Khrustalev L.N., Pustovoit G.P., Emel'yanova L.V. Reliability and durability of the soil bases of engineering structures on permafrost in the conditions of global climate warming. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov*. 1993. No. 3, pp. 10–13. (In Russian).
2. Ilyichev V.A. et al. Perspektivy razvitiya poselenii Severa v sovremennykh usloviyakh [Prospects for the development of settlements in the North in modern conditions]. Moscow: Russian Academy of Architecture and Building Sciences. 2003. 151 p.
3. Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Grebenets V.I. Changes of foundation bearing capacity due to climate warming in Northwest Siberia. *Kriosfera Zemli*. 2012. No. 1, pp. 22–32. (In Russian).
4. Second roshydromet assessment report on climate change and its consequences in Russian Federation. Moscow. 2014. 1007 p.
5. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Geneva: IPCC Secretariat. 2019.
6. Grebenets V., Streletskiy D., Shiklomanov N. Geotechnical safety issues in the cities of Polar Regions. *Geography, Environment, Sustainability Journal*. 2012. Vol. 5. No. 3, pp. 104–119.
7. Petukhova Zh.G., Petukhov M.V. Successes and problems of the city of Norilsk, built on the latitudes of the Far North in the spread of permafrost. *Nauchnyi vestnik Arktiki*. 2019. No. 7, pp. 44–46. (In Russian).
8. Nikiforova N.S., Konnov A.V. Influence of permafrost degradation on piles bearing capacity. // *All-Russian conference with international participation Deep foundations and geotechnical problems of territories*. Perm. 2020.
9. Shkolnik I.M., Efimov S.V. A new generation regional climate model for Northern Eurasia. *Trudy glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova*. 2015. Iss. 576, pp. 201–211. (In Russian).
10. Kattsov V.M. et al. Development of a technique for regional climate probabilistic projections over the territory of Russia aimed at building scenarios of climate impacts on economy sectors. Part 1: Task definition and numerical experiments. *Trudy glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova*. 2016. Iss. 583, pp. 7–29. (In Russian).
11. Kattsov V.M. et al. Development of a technique for regional climate probabilistic projections over the territory of Russia aimed at building scenarios of climate impacts on economy sectors. Part 2: Climate impact projections. *Trudy glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova*. 2019. Iss. 593, pp. 6–52. (In Russian).

- матических воздействий на секторы экономики. Ч. 2. Оценки климатических воздействий // *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. 2019. Вып. 593. С. 6–52.
12. Zepalov F.N. et al. Active-layer Monitoring at a New CALM Site, Taimyr Peninsula, Russia. *Proc. of the 9th Intern. Conf. on Permafrost*. Fairbanks, Alaska. 2008. Vol. 2, pp. 2037–2042.
13. Демидюк Л.М. Состав и криогенное строение пород. В кн.: *Геокриология СССР. Средняя Сибирь*. М.: Недра, 1989. С. 176–180.
14. Гребенец В.И., Исаков В.А. Деформации автомобильных и железных дорог на участке Норильск–Талнах и методы борьбы с ними // *Криосфера Земли*. 2016. Т. XX. № 2. С. 69–77.
15. Алексеев А.Г., Зорин Д.В. Об изменении температурного состояния многолетнемерзлых пород в Таймырском районе Красноярского края // *Фундаменты*. 2020. № 2. С. 4–7.
16. Царапов М.Н., Котов П.И. Свойства мерзлых грунтов при оттаивании // *Путь и путевое хозяйство*. 2013. № 9. С. 31–34.
12. Zepalov F.N. et al. Active-layer Monitoring at a New CALM Site, Taimyr Peninsula, Russia. *Proc. of the 9th Intern. Conf. on Permafrost*. Fairbanks, Alaska. 2008. Vol. 2, pp. 2037–2042.
13. Demidyuk L.M. Sostav i kriogennoe stroenie porod. V kn.: *Geokriologiya SSSR. Srednyaya Sibir'* [Composition and cryogenic structure of soil. In the book: *Geocryology of the USSR. Middle Siberia*]. Moscow: Nedra. 1989, pp. 176–180.
14. Grebenets V.I., Isakov V.A. Deformations of roads and railways within the Norilsk-Talnakh transportation corridor and the stabilization methods. *Kriosfera Zemli*. 2016. Vol. XX. No. 2, pp. 69–77. (In Russian).
15. Alekseev A.G., Zorin D.V. On the change in the temperature state of permafrost in the Taimyr district of the Krasnoyarsk Territory. *Fundamenty*. 2020. No. 2, pp. 4–7. (In Russian).
16. Tsarapov M.N., Kotov P.I. Physical and mechanical properties frozen soil after thawing. *Put' i putevoe khozyaistvo*. 2013. No. 9, pp. 31–34. (In Russian).

## СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

# Проектирование оснований, фундаментов и подземных сооружений

Учебное и практическое пособие под редакцией чл.-корр. РААСН, д-ра техн. наук, проф. Р. А. Мангушева



**Авторы:** д-р техн. наук Р.А. Мангушев, канд. техн. наук А.И. Осокин, канд. техн. наук В.В. Конюшков, канд. техн. наук И.П. Дьяконов, канд. техн. наук С.В. Ланько.

Пособие выпущено под грифом рекомендации Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН).

*Данное пособие является дополнением к ранее изданным базовым учебникам «Механика грунтов» (2019) и «Основания и фундаменты» (2020). Авторы д-ра техн. наук, проф. Р.А. Мангушев и И.И. Сахаров.*

*Разработанное пособие является не только учебным изданием, но и практическим руководством для инженеров-строителей, так как охватывает вопросы проектирования основных типов оснований, фундаментов и подземных частей гражданских зданий и сооружений. Особое внимание уделено расчетам различного типа фундаментов, изготовленным по современным отечественным и зарубежным технологиям, а также конструктивным и технологическим методам устройства котлованов. Учтены особенности устройства фундаментов высотных зданий, влияния технологических осадок, рассмотрены численные методы, используемые при геотехнических расчетах. Особенностью книги является наличие большого количества расчетных примеров по различным типам оснований и фундаментов.*

*Издание рекомендовано для использования при подготовке бакалавров и специалистов.*

УДК 699.8

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-25-29>

С.И. КРЫШОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (skryshov@yandex.ru),  
Д.Е. КОТЕЛЬНИКОВ<sup>1</sup>, инженер-эксперт (yorik487@yandex.ru), А.М. РОГАЛЁВ<sup>1</sup>, инженер-эксперт;  
О.В. ГРАДОВА<sup>2</sup>, руководитель сектора «Акустические материалы и конструкции»

<sup>1</sup> Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве (ГБУ «ЦЭИИС») (109052, г. Москва, Рязанский пр., 13)

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

## Влияние среднего коэффициента звукопоглощения на требуемую звукоизоляцию светопрозрачных конструкций от транспортного шума

*Рассмотрена проблема определения значения требуемой изоляции транспортного шума светопрозрачными конструкциями на вновь возводимых объектах капитального строительства, следствием которой являются завышенные требования к звукоизоляции светопрозрачных конструкций на стадии проектирования. Одной из причин этого является отсутствие в действующей нормативной документации четких рекомендаций для определения значения среднего коэффициента звукопоглощения, необходимого для определения акустической постоянной помещения и коэффициента, учитывающего нарушение диффузности звукового поля. Отделом строительной акустики и обследования фасадов ГБУ «ЦЭИИС» собраны статистические данные измерений изоляции транспортного шума по 150 объектам капитального строительства в Москве. Накопленная статистика измерений позволяет рассчитать средние значения коэффициента звукопоглощения и определить степень влияния на требуемую изоляцию транспортного шума в зависимости от параметров помещений, таких как наличие мебели и пр. По результатам расчетов установлено, что значения коэффициента могут изменяться в диапазоне от 0,03 до 0,15 и более, а расчетное значение требуемой звукоизоляции – на 3–15 дБ соответственно. Необходимо рассмотреть вопрос о внесении изменений в соответствующую нормативную документацию по определению параметра среднего коэффициента звукопоглощения и использовать при внесении изменений в нормативную документацию результаты натурных испытаний.*

**Ключевые слова:** транспортный шум, звукоизоляция, коэффициент звукопоглощения, время реверберации, акустическая постоянная.

**Для цитирования:** Крышов С.И., Котельников Д.Е., Роголев А.М., Градова О.В. Влияние среднего коэффициента звукопоглощения на требуемую звукоизоляцию светопрозрачных конструкций от транспортного шума // *Жилищное строительство*. 2021. № 6. С. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-25-29>

S.I. KRYSHOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (skryshov@yandex.ru), D.E. KOTELNIKOV<sup>1</sup>, Engineer-Expert (yorik487@yandex.ru),  
A.M. ROGALYEV<sup>1</sup>, Engineer-Expert; O.V. GRADOVA<sup>2</sup>, Head of the “Acoustic Materials and Structures” Sector

<sup>1</sup> Center for Expertise, Research and Testing in Construction (GBU “TSEIS”) (13, Ryazanskiy Avenue, Moscow, 109052, Russian Federation)

<sup>2</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivny Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Influence of the Average Sound Absorption Coefficient of Translucent Structures on the Required Sound Insulation from Traffic Noise

The problem of determining the value of the required isolation of transport noise with translucent structures on newly constructed capital construction objects, which results in excessive requirements for the sound insulation of translucent structures at the design stage, is considered. One of the reasons for this is the lack of clear recommendations in the current regulatory documentation for determining the value of the average sound absorption coefficient required to determine the acoustic constant of the room and the coefficient that takes into account the violation of the diffusivity of the sound field. The Department of Construction Acoustics and Facade Inspection of the State Budgetary Institution “TSEIS” has collected statistical data on measurements of transport noise isolation for 150 capital construction projects in Moscow. The accumulated measurement statistics make it possible to calculate the average values of the sound absorption coefficient and determine the degree of influence on the required insulation of transport noise, depending on the parameters of the premises (such as the presence of furniture, etc.). According to the results of calculations, it is established that the coefficient values can vary in the range from 0.03 to 0.15 and more, and the calculated value of the required sound insulation by 3–15 dB, respectively. It is necessary to consider the issue on making changes in the relevant regulatory documentation for determining the parameter of the average sound absorption coefficient and use the results of field tests when making changes to the regulatory documentation.

**Keywords:** transport noise, sound insulation, sound absorption coefficient, reverberation time, acoustic constant.

**For citation:** Kryshov S.I., Kotelnikov D.E., Rogalev A.M., Gradova O.V. Influence of the average sound absorption coefficient of translucent structures on the required sound insulation from traffic noise. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 6, pp. 25–29. (In Russian).

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-25-29>

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации № 985 от 4 июля 2020 г., п. 9.6 СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03–2003» включен в обязательный перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

В данном пункте сформулированы правила определения величины изоляции транспортного шума окна  $R_{\text{Атран}}$ , дБА, а также требуемой звукоизоляции  $R_{\text{Атран}}^{\text{ТР}}$ , дБА.

Отделом строительной акустики и обследования фасадов ГБУ «ЦЭИИС» выполняются работы по оценке соответствия звукоизоляции наружных светопрозрачных ограждающих конструкций требованиям технических регламентов и проектной документации (рис. 1, 2). При проведении данных испытаний сопоставляются фактические значения звукоизоляции окна ( $R_{\text{Атран}}$ , дБА), полученные в результате натурных испытаний на объекте, с расчетным требуемым значением звукоизоляции, представленным в проектной документации.

В проектной документации встречаются очевидно завышенные значения требуемой звукоизоляции окон [1], в результате сопоставления с которыми фактические значения звукоизоляции оказываются гораздо ниже заявленных, вследствие чего выдаются отрицательные заключения.

Причина, по которой производятся некорректные расчеты требуемого значения звукоизоляции наружных ограждающих конструкций, связана с представленной в нормативной документации расчетной формулой данного параметра [2–4].



**Рис. 1.** Проведение натурных испытаний по определению звукоизоляции наружных светопрозрачных ограждающих конструкций в помещении с низким уровнем звукового давления

**Fig. 1.** Conducting full-scale tests to determine the sound insulation of external translucent enclosing structures in a room with a low sound pressure level

Согласно СП 275.1325800.2016, требуемую звукоизоляцию наружных ограждающих конструкций следует определять по формуле:

$$R_{\text{Атран}}^{\text{ТР}} = L_{\text{А2М}} - L_{\text{Адоп}} + 10 \lg S_o - 10 \lg V_{\text{и}} - 10 \lg k, \quad (1)$$

где  $L_{\text{А2М}}$  – эквивалентный (максимальный) уровень звука снаружи в 2 м от ограждений, дБА;  $L_{\text{Адоп}}$  – допустимый эквивалентный (максимальный) уровень звука в помещении, дБА;  $S_o$  – площадь окна (всех окон, обращенных в сторону источника шума), м<sup>2</sup>;  $V_{\text{и}}$  – акустическая постоянная изолируемого помещения, м<sup>3</sup>;  $k$  – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля, принимаемый в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения в изолируемом помещении.

Эквивалентный (максимальный) уровень звука снаружи в 2 м от ограждений,  $L_{\text{А2М}}$ , дБА, определяется проектировщиками при помощи компьютерных программ по характеристикам транспортных потоков.

Допустимый эквивалентный (максимальный) уровень звука в помещении  $L_{\text{Адоп}}$ , дБА, в зависимости от назначения помещения принимается по табл. 1, п. 6.3 СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03–2003».

Площадь окна (всех окон, обращенных в сторону источника шума)  $S_o$ , м<sup>2</sup>, принимается в соответствии с объемно-планировочными решениями.

Значения коэффициента  $k$  в зависимости от среднего коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$  принимаются по табл. 6 СП 275.1325800.2016.

Что касается акустической постоянной изолируемого помещения  $V_{\text{и}}$ , м<sup>3</sup>, то рекомендаций по определению этого параметра ни в СП 51.13330.2011, ни в СП 275.1325800.2016 не представлено.



**Рис. 2.** Проведение натурных испытаний по определению звукоизоляции наружных светопрозрачных ограждающих конструкций у фасада здания

**Fig. 2.** Conducting full-scale tests to determine the sound insulation of external translucent enclosing structures at the facade of the building

Формула для расчета акустической постоянной встречается в СНиП 23-03–2003:

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

где  $A$  – эквивалентная площадь звукопоглощения,  $\text{м}^2$ , определяемая по формуле:

$$A = \alpha_{\text{ср}} \cdot S_{\text{огр}}, \quad (3)$$

$\alpha_{\text{ср}}$  – средний коэффициент звукопоглощения;  
 $S_{\text{огр}}$  – общая площадь поверхностей помещения.

Таким образом, при расчете требуемого значения звукоизоляции по формуле (1) для определения двух параметров  $B_{\text{и}}$  и  $k$  необходимо использовать значение среднего коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$ ,  $\text{м}^2$ .

Четких рекомендаций по определению данного параметра при расчете требуемого значения звукоизоляции ни в одном из нормативных документов не представлено.

Принимая во внимание вышеизложенное, можно сделать вывод, что завышенные значения требуемой звукоизоляции, встречающиеся в проектной документации, могут быть следствием некорректного принятия проектировщиками значения  $\alpha_{\text{ср}}$  при расчете  $R_{\text{Атран}}^{\text{ТР}}$  ввиду отсутствия четких рекомендаций по определению этого параметра в нормативной документации.

Имея накопленную статистику измерений звукоизоляции, полученную при проведении натурных испытаний на существующих объектах строительства в Москве, можно рассчитать средние значения коэффициента звукопоглощения помещений, используя формулу (3):

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{A}{S_{\text{огр}}}, \quad (4)$$

где значения эквивалентной площади звукопоглощения  $A$ ,  $\text{м}^2$ , принимаются по формуле:

$$A = \frac{0,16V}{T}, \quad (5)$$

где  $V$  – объем измерительного помещения,  $\text{м}^3$ ;  $T$  – время реверберации в помещении низкого уровня, с.

Время реверберации – время, требуемое для снижения уровня звукового давления в замкнутом помещении на 60 дБ после выключения источника звука.

Методика измерения времени реверберации представлена в ГОСТ Р ИСО 3382-2–2013 «Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Ч. 2. Время реверберации обычных помещений», согласно которому в помещении низкого уровня звукового давления производится не менее шести замеров при двух позициях источника звука.

При каждом натурном испытании ограждающих конструкций вновь строящихся зданий на предмет соответствия акустическим требованиям в контрольных



Рис. 3. Помещение с ковролином  
Fig. 3. Room with carpet



Рис. 4. Помещение с мебелью  
Fig. 4. Room with furniture



Рис. 5. Помещение со строительными материалами  
Fig. 5. Room with construction materials

помещениях отделом были проведены измерения значений времени реверберации [5–8]. Накопленная статистика измерений позволяет рассчитать средние значения коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$ ,  $\text{м}^2$ , по формулам (4) и (5).

Для расчетов использованы значения времени реверберации и геометрических показателей помещений со 150 объектов, на которых специалистами проводились испытания.

В результате расчетов полученные значения средних значений коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{ср}$ , м<sup>2</sup> были распределены в зависимости от параметров помещений, в которых производились натурные испытания, на три группы:

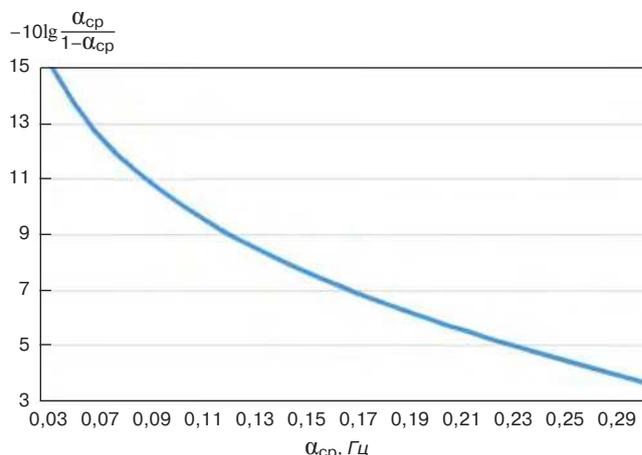
- пустые помещения без отделки;
- пустые помещения с завершённой отделкой;
- помещения со звукопоглощающими и звукоотражающими объектами, такими как отделка пола из коврового материала, мебель, строительные материалы и т. д. (рис. 3–5).

Результаты определения средних значений коэффициентов звукопоглощения  $\alpha_{ср}$ , м<sup>2</sup>, представлены в таблице, где показано, что значения коэффициента звукопоглощения в помещениях без отделки и в помещениях с отделкой принципиально не отличаются.

В свою очередь, значения коэффициента в помещениях со звукопоглощением и рассеивающими объектами выше примерно в два раза по каждой из третьоктавных полос частот и представляют собой диапазон от 0,09 до 0,15 на частотах от 100 до 3150 Гц соответственно. При этом нужно понимать, что в реальных эксплуатируемых помещениях значение коэффициента звукопоглощения может быть

**Средние значения коэффициента звукопоглощения в третьоктавных полосах частот**  
**Average values of the sound absorption coefficient in the 1/3-octave frequency bands**

Частота, Гц	Коэффициент звукопоглощения $\alpha$		
	Помещения без отделки	Помещения с отделкой	Помещения со звукопоглощением
100	0,03	0,03	0,09
125	0,04	0,03	0,1
160	0,04	0,04	0,1
200	0,04	0,04	0,09
250	0,04	0,05	0,1
315	0,05	0,05	0,1
400	0,05	0,06	0,1
500	0,05	0,08	0,11
630	0,05	0,07	0,11
800	0,06	0,06	0,11
1000	0,06	0,06	0,11
1250	0,06	0,06	0,12
1600	0,07	0,07	0,12
2000	0,07	0,07	0,13
2500	0,08	0,07	0,14
3150	0,09	0,08	0,15



**Рис. 6.** Влияние коэффициента звукопоглощения на значение требуемой звукоизоляции

**Fig. 6.** Influence of the sound absorption coefficient on the value of the required sound insulation

еще выше за счет большего количества звукоотражающих и звукопоглощающих объектов.

С целью оценки влияния коэффициента звукопоглощения в помещении  $\alpha_{ср}$ , м<sup>2</sup>, на значения рассчитываемого проектировщиками параметра требуемой звукоизоляции  $R_{Атран}^{ТР}$ , дБА, исходя из формул (2) и (3) получаем:

$$B = \frac{A}{1 - \alpha_{ср}} = \frac{\alpha_{ср} \cdot S_{огр}}{1 - \alpha_{ср}} \quad (6)$$

Подставив значение формулы (6) в формулу (1), получим:

$$R_{Атран}^{ТР} = L_{А2м} - L_{Адоп} + 10lgS_o - 10lgS_{огр} - 10lg \frac{\alpha_{ср}}{1 - \alpha_{ср}} - 10lgk, \quad (7)$$

где  $(-10lg \frac{\alpha_{ср}}{1 - \alpha_{ср}})$  – параметр, рекомендаций по определению которого при расчете требуемого значения звукоизоляции в нормативной документации не представлено.

Рассчитав значения  $(-10lg \frac{\alpha_{ср}}{1 - \alpha_{ср}})$  в диапазоне значений  $\alpha_{ср}$  от 0,03 до 0,3, получим график, представленный на рис. 6, где показано, что если коэффициент звукопоглощения в диапазоне от 0,03 до 0,3, то расчетное значение требуемой звукоизоляции может меняться от 15 до 3 дБ соответственно.

Учитывая все вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

- для определения требуемого значения звукоизоляции окна по методике, представленной в нормативной документации, не приведены четкие рекомендации по определению одного из параметров, а именно коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{ср}$ , м<sup>2</sup>;
- по результатам натурных испытаний и расчетов среднего коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{ср}$ , м<sup>2</sup>, установлено, что в зависимости от параметров помещений, таких как наличие мебели и пр., значения

коэффициента могут изменяться в диапазоне от 0,03 до 0,15 и более.

Путем построения графика зависимости параметра  $(-10 \lg \frac{\alpha_{\text{ср}}}{1 - \alpha_{\text{ср}}})$  от коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$ , м<sup>2</sup> (рис. 6), наглядно показано влияние данного коэффициента на расчетную величину требуемого значения звукоизоляции окна  $R_{\text{Атран}}^{\text{ТР}}$ , дБА.

По представленным результатам можно дать следующие рекомендации.

Разработчикам СП «Защита от шума» необходимо рассмотреть вопрос о внесении изменений в

соответствующую нормативную документацию по определению параметра среднего коэффициента звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}}$ , м<sup>2</sup>, при расчете требуемого значения звукоизоляции окна  $R_{\text{Атран}}^{\text{ТР}}$ , дБА.

Использовать при внесении изменений в нормативную документацию результаты натурных испытаний, проведенных отделом строительной акустики и обследования фасадов ГБУ «ЦЭИИС» в рамках государственных работ по оценке соответствия звукоизоляции наружных и внутренних ограждающих конструкций требованиям технических регламентов и проектной документации.

### Список литературы

1. Леденев В.И., Матвеева И.В., Фёдоров О.О. О комплексных исследованиях оконных заполнений как элементов оболочки здания по условиям обеспечения ими светового, инсоляционного, теплового, шумового режимов и электромагнитной безопасности в гражданских зданиях // *Приволжский научный журнал*. 2017. № 1. С. 20–26.
2. Шубин И.Л. Нормативные документы по энергосбережению и строительной акустике, разработанные НИИСФ РААСН // *Бюллетень строительной техники*. 2012. № 2. С. 7–13.
3. Спиридонов А.В., Цукерников И.Е., Шубин И.Л. Мониторинг и анализ нормативных документов в области внутреннего климата помещений и защиты от вредных воздействий. Ч. 3. Акустические факторы (шум, вибрация, инфразвук, ультразвук) // *Бюллетень строительной техники*. 2016. № 6. С. 8–11.
4. Анджелов В.Л., Пороженко М.А. Оценка и нормирование звукоизоляции ограждающих конструкций зданий // *Academia. Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 170–174.
5. Крышов С.И. Проблемы звукоизоляции строящихся зданий // *Жилищное строительство*. 2017. № 6. С. 8–10.
6. Леденев В.И., Антонов А.И., Жданов А.Е. Статистические энергетические методы расчета отраженных шумовых полей помещений // *Вестник ТГТУ*. 2003. Т. 3. № 4. С. 713–717.
7. Антонов А.И., Бацунова А.В., Крышов С.И. Метод оценки шумовых полей помещений при проектировании шумозащиты в гражданских зданиях с непостоянными во времени источниками // *Жилищное строительство*. 2012. № 4. С. 58–60.
8. Шубин И.Л., Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Меркушева Н.П. Оценка шумового режима в помещениях предприятий, встроенных в жилые здания // *Жилищное строительство*. 2020. № 6. С. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-3-8>

### References

1. Ledenev V.I., Matveeva I.V., Fedorov O.O. On complex studies of window fillings as elements of the building shell under the conditions of providing them with light, insolation, heat, noise modes and electromagnetic safety in civil buildings. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2017. No. 1, pp. 20–26. (In Russian).
2. Shubin I.L. Normative documents on energy saving and construction acoustics, developed by NIISF RAASN. *Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2012. No. 2, pp. 7–13. (In Russian).
3. Spiridonov A.V., Tsukernikov I. E., Shubin I. L. Monitoring and analysis of regulatory documents in the field of indoor climate of premises and protection from harmful effects. Part 3. Acoustic factors (noise, vibration, infrasound, ultrasound). *Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2016. No. 6, pp. 8–11. (In Russian).
4. Angelov V.L., Porozhenko M.A. Evaluation and normalization of sound insulation of building enclosing structures. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2010. No. 3, pp. 170–174. (In Russian).
5. Kryshov S.I. Problems of sound insulation of buildings under construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Constructions]*. 2017. No. 6, pp. 8–10. (In Russian).
6. Ledenev V.I., Antonov A.I., Zhdanov A.E. Statistical energy methods for calculating reflected noise fields of premises. *Vestnik TGTU*. 2003. Vol. 3. No. 4, pp. 713–717. (In Russian).
7. Antonov A.I., Bacunova A.V., Kryshov S.I. Method for evaluating the noise fields of premises in the design of noise protection in civil buildings with non-constant time sources. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Constructions]*. 2012. No. 4, pp. 58–60 (In Russian).
8. Shubin I.L., Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Merkusheva N.P. Assessment of noise conditions in the premises of enterprises built into residential buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2020. No. 6, pp. 3–8. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-3-8>

УДК 699.86

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-30-41>

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

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

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

## Нормативное регулирование обследования теплозащитных свойств ограждающих конструкций в натуральных условиях. Пересмотр положений ГОСТ Р 54852–2011

*Выполнен анализ нормативных документов, регулирующих обследования теплозащитных характеристик ограждающих конструкций. Установлено, что тепловизионный контроль ограждающих конструкций является перспективным методом, но нормативная база по его использованию нуждается в значительной переработке. Авторами статьи проведен пересмотр основного документа, регулирующего тепловизионные обследования, ГОСТ Р 54852–2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций». Пересмотр ГОСТ Р 54852 выполнен с целью повышения точности тепловизионных обследований теплозащитных свойств ограждающих конструкций и расширения его области действия. В настоящей статье приведены новые положения, разработанные в результате пересмотра ГОСТа. Новые положения касаются термографирования светопрозрачных и негерметичных ограждающих конструкций (с фильтрацией воздуха). Для светопрозрачных конструкций использование новых положений в отдельных случаях позволяет проводить термографирование на количественном уровне. Приведена новая методика обработки результатов тепловизионных измерений, формулы для пересчета результатов измерений на расчетные условия и формулы для определения погрешности измерений. В методику проведения тепловизионных обследований введены новые операции с использованием репера температуры воздуха, позволяющие существенно увеличить точность тепловизионного метода. Анализ новых положений ГОСТ Р 54852 проведен с пояснениями и комментариями.*

**Ключевые слова:** тепловая защита, ограждающая конструкция, энергосбережение, микроклимат, тепловизионное обследование, пересмотр положений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального центра нормирования и стандартизации Минстроя России (ФАУ ФЦС).

**Для цитирования:** Левин Е.В., Окунев А.Ю. Нормативное регулирование обследования теплозащитных свойств ограждающих конструкций в натуральных условиях. Пересмотр положений ГОСТ Р 54852–2011 // *Жилищное строительство*. 2021. № 6. С. 30–41. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-30-41>

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

A.Y. OKUNEV<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics) (okunevay@gmail.com)

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

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

### Normative Regulation of the Examination of Heat-Protection Properties of Enclosing Structures in Natural Conditions. Revision of the Provisions of GOST R 54852–2011

The analysis of the normative documents regulating the inspection of the heat-protection characteristics of the enclosing structures has been carried out. It has been established that thermal imaging control of enclosing structures is a promising method, but the regulatory framework for its use needs significant revision. The authors of the article have revised the main document regulating thermal imaging inspection, GOST R 54852–2011 “Buildings and Structures. Method of thermal imaging quality control of thermal insulation of building envelopes”. The revision of GOST R 54852 was carried out with the aim of increasing the accuracy of thermal imaging examinations of the heat-protection properties of enclosing structures and expanding its scope. This article contains new provisions developed as a result of the revision of GOST. The new regulations relate to thermography of translucent and leaky enclosing structures (with air filtration). For translucent structures, the use of new provisions in some cases makes it possible to conduct the thermography at a quantitative level. A new method of processing the results of thermal imaging measurements, formulas for recalculating measurement results for design conditions and formulas for determining the measurement error are presented. New operations with the use of the air temperature reference points have been introduced into the methodology for conducting thermal imaging

inspection, which make it possible to significantly increase the accuracy of the thermal imaging method. The analysis of the new provisions of GOST R 54852 was carried out with explanations and comments.

**Keywords:** heat-protection, building envelope, energy saving, microclimate, thermal imaging inspection, revision of provisions.

The work was carried out with the financial support of the Federal Center for Regulation and Standardization of the Ministry of Construction of the Russian Federation (FAA FTS).

**For citation:** Levin E.V., Okunev A.Y. Normative regulation of the examination of heat-protection properties of enclosing structures in natural conditions. Revision of the provisions of GOST R 54852–2011. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 6, pp. 30–41. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-30-41>

На территории РФ в соответствии с положениями Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» использование тепловых методов неразрушающего контроля подлежит регулированию вводом в действие соответствующих нормативных документов. Действующий на сегодняшний день перечень таких документов соответствует приказу Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 апреля 2021 г. № 567 «О внесении изменения в приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 апреля 2020 г. № 687».

При определении теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий и сооружений основными методами обследования являются тепловые методы неразрушающего контроля [1–8]. На их основе проводятся не только измерения теплотехнических показателей конкретных строительных объектов [3, 4, 9, 10], но также аналитические исследования по разработке и уточнению методик оценки энергоэффективности зданий [5, 11, 12].

Тепловые методы неразрушающего контроля ограждающих конструкций служат для измерения тепловых потерь здания для проверки его соответствия требуемому уровню тепловой защиты и для определения реальных теплозащитных характеристик оболочки здания.

Методы контроля могут быть условно разделены на три категории, каждая из которых решает отдельный спектр задач. Первая категория – это методы, которые служат для измерения теплового баланса зданий или отдельных их помещений. Использование метода регулируется положениями ГОСТ 31168–2014 «Здания жилые. Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление». Принцип метода состоит в том, что по тепловым счетчикам производят измерение расхода тепловой энергии и одновременно измерение средней температуры внутреннего и наружного воздуха. Далее в расчетах учитываются бытовые (и производственные) тепловыделения, а также инсоляция. Исходя из полученных данных, используя геометрические параметры здания, вычисляют удельное потребление тепловой

энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период, а также устанавливают класс его энергосбережения. Испытания являются длительными и проводятся в течение трех месяцев. Несмотря на высокую надежность и достаточную точность определения баланса тепловой энергии (до  $\pm 10\%$ ), у метода имеется существенный недостаток. С его помощью трудно установить причины повышенных тепловых потерь, а также достоверно детализировать тепловые потери по отдельным помещениям здания.

Ко второй категории методов теплового контроля относятся методы измерения плотности тепловых потоков через теплозащитную оболочку зданий. Проводя также измерения температуры наружной и внутренней поверхности и температуры воздуха вблизи ограждающей конструкции, можно рассчитать величину приведенного сопротивления теплопередаче обследуемых участков ограждающей конструкции. Приведенное сопротивление теплопередаче является характеристикой ограждающей конструкции здания и по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» используется при проектировании тепловой защиты строящихся или реконструируемых жилых, общественных и других зданий. Основные положения по проведению измерений плотности тепловых потоков в натуральных условиях содержатся в ГОСТ Р 54853–2011 «Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера». Данный документ является основным рабочим документом, но имеет ряд недостатков. Во-первых, измерения должны проводиться в течение длительного времени (от нескольких до десятков суток). Во-вторых, сам метод и регламент его реализации устанавливают, что измерения тепловых потоков должны быть проведены только в заранее выбранных точках, которые соответствуют термически однородным зонам на поверхности ограждающей конструкции. Что такое термически однородная зона, в ГОСТе не раскрывается, но схему расстановки датчиков рекомендуется выбирать по результатам измерения температурного поля на поверхности. Для этого могут быть использованы термошупы, пирометры или тепловизионная съемка.

Предлагаемая в качестве варианта в ГОСТ Р 54853 тепловизионная съемка относится к третьей использу-

емой на практике категории методов контроля теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Данный метод обладает рядом незаменимых преимуществ. Тепловизионный метод является «мгновенным» методом, т. е. каждая термограмма несет в себе информацию о характере распределения температурного поля на поверхности ограждающей конструкции, полученного в момент съемки. Распределение температуры может показать термически однородные зоны в ограждающей конструкции, которые необходимы для реализации метода измерения тепловых потоков. Температурные аномалии, обнаруженные на термограммах, могут локализовать зоны повышенных тепловых потерь, что невозможно сделать методом измерения теплового баланса и весьма затруднительно методом измерения тепловых потоков. И наконец, тепловизионный метод способен измерить величину температуры одновременно во всех точках на поверхности ограждающей конструкции. Этих данных и данных измерения плотности теплового потока в какой-либо точке и температуры воздуха может быть достаточно для расчета приведенного сопротивления теплопередаче на неоднородной ограждающей конструкции.

В настоящее время тепловизионный метод уже достаточно широко используется при теплотехнических обследованиях зданий как самостоятельный метод, так и вместе с другими методами [1, 2, 13–17]. Точности использования тепловизионного метода в теплотехнических обследованиях строительных конструкций также уделяется большое внимание [18–22]. Что касается нормативных требований, то на территории РФ действуют два ГОСТа, регламентирующие проведение тепловизионных обследований ограждающих конструкций. Это ГОСТ 26629–85 и ГОСТ Р 54852–2011, имеющие одинаковое название «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций». Разница между вводом в действие этих стандартов составила 26 лет, за которые уровень тепловизионной техники и методология съемки значительно изменились. ГОСТ 26629 регламентирует проведение тепловизионных обследований с использованием тепловизоров, не оснащенных микропроцессорной электроникой, а получение температурных полей связано с ручной обработкой термограмм (рисование изотерм). Подобное оборудование давно не производится, а метод обработки термограмм не используется. Однако методики измерений и анализа результатов, используемые в ГОСТ 26629, достаточно обоснованы и позволяют проводить измерения с ограниченными методическими погрешностями. ГОСТ Р 54852 разработан с использованием многих положений ГОСТ 26629 и ориентирован на использование современной тепловизионной техники. При тепловизионной съемке с ис-

пользованием современного оборудования и последующей обработке результатов необходимо знать такие параметры, как коэффициент излучения поверхности и температуру отраженного излучения, которые, вообще говоря, могут изменяться от точки к точке термограммы. Ошибочное задание этих параметров приводит к появлению методических погрешностей в определении температурных полей и затрудняет применение тепловизионного метода для получения достаточно точных и достоверных температурных полей. Кроме возможной невысокой точности измерений ГОСТ Р 54852 имеет и другие недостатки, связанные с областью применимости тепловизионных обследований. В нем, например, отсутствуют положения по проведению тепловизионных обследований светопрозрачных ограждающих конструкций; конструкций, имеющих области инфильтрации или эксфильтрации воздуха; не содержатся рекомендации по выбору однородных зон для установки датчиков по контактному измерению теплофизических параметров ограждающих конструкций. В ГОСТе достаточно слабо раскрыты требования к стационарности теплопереноса через ограждающие конструкции.

Для устранения этих недостатков авторами настоящей статьи по заказу ФАУ ФЦС в 2020 г. был выполнен пересмотр положений ГОСТ Р 54852 и подготовлена его новая редакция. Пересмотр ГОСТ Р 54852 произведен в соответствии с установленным порядком проведения подобных работ с использованием положений ГОСТ Р 1.2–2016 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены», а оформление новой редакции – в соответствии с ГОСТ Р 1.5–2012 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения». Из новой редакции исключены некоторые устаревшие положения, скорректированы существующие и введены новые. На момент написания настоящей статьи (май 2021 г.) новая редакция ГОСТа еще не утверждена и не опубликована. Даже в том случае, если новая редакция окажется неутвержденной, авторы настоящей статьи считают, что в разработанном проекте новой редакции содержится ряд положений, которые, не являясь обязательными к исполнению, позволяют существенно расширить возможности тепловизионного обследования строительных объектов.

Целью публикации является показать, какие изменения предложены в новую редакцию ГОСТ Р 54852, зачем они нужны и почему сформулированы тем или иным образом.

Общая характеристика предложенных изменений в ГОСТ Р 54852 (далее – Стандарт) имеет следующий вид:

– проведена корректировка структуры и положений Стандарта. В результате в Стандарте отражены положения, направленные на улучшение количественных характеристик тепловизионного контроля, т. е. повышение достоверности и точности определения температурных полей на поверхности обследуемых объектов;

– расширена область применения положений Стандарта на термографирование светопрозрачных конструкций, позволяющая в отдельных случаях проводить термографирование на количественном уровне;

– расширена область применения положений Стандарта для регистрации зон инфильтрации и эксфильтрации воздуха. Приведена методика проведения таких обследований и критерии, по которым в процессе термографирования и при обработке термограмм указанные зоны могут быть отделены от зон нарушения теплоизоляции;

– уточнены положения о реперных участках на поверхности объекта при тепловизионной съемке. Добавлены требования по величине коэффициента излучения, предъявляемые к реперным участкам;

– добавлено понятие репера температуры воздуха и способ его формирования и использования при проведении измерений. Введена аналогия между реперным участком и репером температуры воздуха и приведены указания, когда репер температуры воздуха может быть использован в качестве реперного участка;

– уточнены требования к точности применяемых измерительных приборов и оборудования в соответствии с доступной для использования приборной базой;

– введены алгоритмы расчета погрешностей для измеренной температуры и относительного сопротивления теплопередаче;

– введены формулы для пересчета результатов измерений температуры на расчетные условия по температуре наружного и внутреннего воздуха, а также методика по расчету погрешности такого пересчета;

– добавлены положения по способам определения величин внешних параметров, оказывающих влияние на величину методических погрешностей, – коэффициент излучения и температура отраженного излучения. Приведены положения, каким образом эти параметры могут быть измерены в полевых и лабораторных условиях;

– упрощена методика обработки результатов тепловизионной съемки. Вместо относительно сложного расчета энергетического баланса на приемнике излучения введена методика обработки за счет сдвига температурной шкалы. Приведены алгоритмы расчета погрешностей при ее использовании;

– введен алгоритм корректировки результатов измерений для объектов, поверхность которых имеет неоднородное распределение коэффициента излу-

чения за счет присутствия материалов с различными физико-механическими свойствами.

В Стандарт также внесены другие изменения, повышающие его применимость на практике и качество получаемых результатов.

Рассмотрим теперь предложенные отдельные положения Стандарта и поясняющие их комментарии. Далее по тексту предложенные изменения выделены курсивом. Часть приведенных положений имеет нумерацию, соответствующую тексту пересмотренного Стандарта.

*...репер температуры воздуха: не имеющий теплового контакта с обследуемой поверхностью и регистрируемый тепловизором объект с малым, не более десяти минут, характеристическим временем тепловой инерции, с коэффициентом излучения не менее 0,9 и с незеркальной поверхностью.*

За счет малого характеристического времени тепловой инерции (малой теплоемкости) данный репер имеет температуру окружающего воздуха. Репер температуры воздуха должен быть термографирован на фоне обследуемой поверхности. Его использование позволяет решить две задачи: определить с высокой точностью разницу температуры между обследуемой поверхностью и воздухом, а также получить величину сдвига температурной шкалы для коррекции термограммы. Для получения величины температурного сдвига необходимо сравнить температуру репера, отображаемую на термограмме, с температурой воздуха, измеренной воздушным термометром. Достаточно черная и шероховатая поверхность репера имеет радиационную температуру, близкую к действительной, а разница температуры по термограмме может определяться с точностью, намного превосходящей точность контактных и воздушных датчиков температуры.

*...характеристическое время тепловой инерции: характеристическое время тепловой инерции объекта контроля, определяемое по п. 6.1.2 (см. ниже).*

В новой редакции Стандарта появились положения, касающиеся количественной оценки стационарности теплопереноса. Таких положений нет ни в одном другом стандарте РФ по тепловому контролю. Также они отсутствуют в европейском стандарте EN 13187:1999 “Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method”.

**4.1. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций основан на дистанционном измерении тепловизором температурного поля на поверхности ограждающих конструкций, между внутренними и наружными сторонами которых существует перепад температуры...**

В данной формулировке требование того, что здание должно отапливаться, заменено на существо-

вание перепада температуры. Такая замена делает стандарт более точным, в частности из рассмотрения исключаются неотапливаемые части отапливаемого здания. С другой стороны, становится возможным проведение обследований здания при отсутствии или выключенной системе отопления. Перепад температуры может быть создан любым удобным способом, в том числе переносными обогревателями.

**4.8.** ...Реперные участки могут располагаться на ограждающей конструкции, подлежащей тепловизионному контролю, и (или) рядом с ней.

Часто при использовании предыдущей редакции Стандарта, а также ГОСТ 26629 у специалистов возникло мнение, что реперы обязательно должны быть на ограждающей конструкции, что это некоторые базовые фрагменты ограждения, необходимые для дальнейших измерений. На самом деле это не так. Реперы нужны для установления соответствия между регистрируемой тепловизором радиационной температурой и ее фактическим значением, а является ли реперный участок фрагментом ограждения, не играет роли.

**5.2.** При тепловизионном контроле используют следующее оборудование:

– контактный термометр с погрешностью не более  $\pm 1^\circ\text{C}$ ;

– термогигрометр с погрешностью измерения температуры не более  $\pm 1^\circ\text{C}$  и относительной влажности не более  $\pm 3,5\%$ ;

– ручной анемометр с чувствительностью не менее  $0,1 \text{ м/с}$ .

В Стандарте снижены требования по точности к дополнительному оборудованию. Такое снижение точности соответствует большинству проводимых тепловизионных обследований. Если существует необходимость термографирования на количественном уровне с высокой точностью, то требуемые погрешности контактного измерения температуры должны выбираться в соответствии с расчетами точности измерений, содержащимися в разделе 9 новой редакции Стандарта.

#### 6.1.1.

– тепловизионный контроль может быть проведен при температурном перепаде, превосходящем минимально допустимое значение  $\Delta t_{\min}$ ,  $^\circ\text{C}$ , определяемое по формуле (1) (в новой редакции ГОСТ Р 54852):

$$\Delta t_{\min} = 2 \Delta \theta R \frac{\alpha r}{1-r},$$

где  $\Delta \theta$  – предел температурной чувствительности тепловизора,  $^\circ\text{C}$ ;  $R$  – проектное значение сопротивления теплопередаче ( $^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$ );  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, принимаемый равным: для внутренней поверхности стен – по таблице 4 СП 50.13330, для наружной поверхности стен при скоростях ветра 1; 3; 6 м/с – 11; 20; 30  $\text{Вт}/(^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2)$  соответственно;  $r$  – максимальное относительное сопротивление теплопере-

даче подлежащих выявлению дефектных участков ограждающей конструкции.

**6.1.1.1.** Формула (1) может использоваться не только для определения минимального температурного перепада для проведения тепловизионного контроля, но также для нахождения достижимой величины  $r$  при заданных значениях температурного перепада, предела температурной чувствительности тепловизора, проектного значения сопротивления теплопередаче и коэффициента теплоотдачи.

Специалисты, применяя формулу (1) (и аналогичную ей в ГОСТ 26629), часто получали очень высокий требуемый температурный перепад, необходимый для проведения обследования. В новой редакции пояснено, что формула (1) может использоваться и наоборот, т. е. для определения границ точности нахождения нарушений теплоизоляции при фактическом перепаде температуры. Более того, на практике для достаточно хорошо утепленных ограждающих конструкций с базовым значением приведенного сопротивления теплопередаче  $3^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$  и выше, для достаточно информативного тепловизионного контроля часто можно ограничиться значениям  $r$  на уровне 0,5–0,7. Данные значения при чувствительности тепловизора 0,05 К и сопротивлении теплопередаче  $3^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$  соответствуют перепадам температуры между внутренним и наружным воздухом всего:

– около  $4^\circ\text{C}$  (при внутренней съемке);

– около  $10^\circ\text{C}$  (при наружной съемке).

**6.1.2.** На основании проектных или фактических данных оценивают характеристическое время тепловой инерции  $\tau_0$  ограждающей конструкции, соответствующее достижению степени стационарности теплового потока внутри конструкции на уровне 90% после теплового воздействия на ее поверхность.

В случае однослойных ограждающих конструкций характеристическое время рассчитывают по формуле (2) (в новой редакции ГОСТ Р 54852):

$$\tau_0 = 0,5 \frac{c}{\lambda} \Delta^2,$$

где  $c$  – объемная теплоемкость ограждающей конструкции,  $\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{C})$ ;  $\lambda$  – ее коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ;  $\Delta$  – толщина ограждающей конструкции, м.

В случаях многослойных и светопрозрачных конструкций характеристическое время  $\tau_0$  оценивается на основе расчетов нестационарного одномерного теплопереноса через ограждающую конструкцию.

Масштабы характеристического времени для некоторых типов ограждающих конструкций и методика расчета для многослойных нестационарных конструкций приведены в приложении В.

При проведении термографического осмотра характеристическое время тепловой инерции  $\tau_0$  допускается не определять.

Новый пункт касается количественной оценки времени достижения 90% стационарности теплопередачи после начала или после окончания внешнего теплового воздействия на поверхность обследуемого объекта (например, начало или окончание его освещенности солнцем). Приведен расчет характеристического времени для однослойных конструкций. Для остальных разработано отдельное приложение, содержащее способ расчета и примеры. В приложении приведено характеристическое время достижения 90% стационарного теплопереноса после начала тепловых воздействий для кирпичной кладки толщиной 500 мм; газобетонной кладки толщиной 250 мм; стены, содержащей только утеплитель ППС (аналог сэндвич-панелей) толщиной 150 мм; железобетонной стены с наружным, внутренним и двухсторонним утеплением, а также для двух вариантов стеклопакетов.

Указано, что определение характеристического времени, и, следовательно, количественный анализ стационарности теплопередачи в случае самого простого варианта тепловизионного контроля (осмотр) допускается не проводить.

**6.1.3.** *В случае проведения термографического обследования оценивают постоянство температурного перепада на ограждающей конструкции за предшествующий период. Для этого используют результаты предшествующих измерений температуры наружного и внутреннего воздуха. При отсутствии таких данных внутреннюю температуру допускается принимать постоянной, если нет данных об обратном, а для температуры наружного воздуха использовать актуальные данные метеорологической станции, расположенной на расстоянии не более 50 км от объекта обследования в тех же климатических условиях, что и объект обследования.*

*Если в течение периода  $\tau_0$  разница между максимальным и минимальным температурными перепадами превосходит средний температурный перепад, то термографическое обследование проводят в другое время, когда будет выполнено указанное условие.*

Здесь приведен алгоритм оценки постоянства температурного перепада на ограждающей конструкции с использованием величины характеристического времени. С целью обеспечения оперативности тепловизионного контроля вместо измерений температуры наружного воздуха (для этого может потребоваться большой период – несколько суток и более) допускается использовать данные ближайшей метеорологической станции. При этом важными являются не абсолютные совпадения температуры, а примерные совпадения графика амплитуды изменения температуры на станции и местоположении обследуемого объекта.

**6.10.** *Поверхности контролируемых участков ограждающих конструкций за время не менее  $\tau_0$  (п. 6.1.2) перед*

*началом термографирования освобождают от картин, ковров, отслоившихся обоев, штор и других предметов, исключающих прямую видимость объекта. Удаление предметов, исключающих прямую видимость, непосредственно во время обследования не допускается.*

Второе предложение этого пункта фактически требует в процессе проведения тепловизионной съемки не вмешиваться в режим теплопередачи в ограждающей конструкции. Если, например, термографировать окно, которое закрыто шторой до съемки, то в зимнее время на термограмме могут наблюдаться заниженные значения температуры, но это связано с тепловой инерцией и не является следствием нарушения теплозащиты оболочки. Более того, если убрать шторы и выждать недостаточно большое время, то стеклопакеты и профили могут приобрести температуру, соответствующую стационарной теплопередаче в новом режиме, но откосы массивных стен могут быть все еще переохлажденными и анализ нарушений теплоизоляции на них по термограммам производить не следует.

**7.2.1.** *Перед наружным термографированием при температуре наружного воздуха менее 0°C тепловизор, предварительно распаковав, выдерживают при наружной температуре не менее 30 мин.*

Тепловизоры с неохлаждаемой матрицей (наиболее распространенные тепловизоры в настоящее время) регистрируют разницу радиационной температуры между внутренним затвором и принимаемым тепловым изображением. При этом, относительно низкая погрешность измерения достигается при измерении тепловизором температуры выше собственной, и значительная ошибка возникает, если объект гораздо холоднее затвора тепловизора. Для уменьшения этой ошибки целесообразно уменьшить разницу между температурой тепловизора и объектом контроля, на что и направлен этот пункт.

**7.2.4.** *Перед или после термографической съемки с помощью контактного термометра измеряют температуру в выбранных точках на реперных участках. Измерение температуры реперных участков с помощью пирометра не допускается. Измерение температуры поверхности репера температуры воздуха контактным методом не производят.*

В этом положении фактически указано, что измерения температуры реперов проводятся прямыми методами, погрешности которых заранее известны. Температуру реперного участка на поверхности объекта измеряют контактным термометром. Измерение температуры поверхности репера температуры воздуха измеряют с помощью воздушного термометра. Контактные измерения его температуры не производят в силу того, что контактный термометр может изменить температуру этого репера за счет его малой теплоемкости. Пирометрические измерения температуры ре-

перов не проводят, поскольку они относятся к таким же косвенным методам, как и тепловизионный метод.

**7.2.7.1.** При использовании реперов температуры воздуха измерение температуры воздуха производят с помощью того же контактного термометра, который используется для измерения температуры поверхностей ограждающих конструкций по 7.2.4.

Несмотря на возможную ошибку измерения температуры воздуха, применение одного и того же термоэлемента (датчика температуры поверхности) для воздуха и для ограждения резко снижает ошибку измерения разницы температуры между ними, так как практически исключается систематическая ошибка измерения.

**7.2.14.** Тепловизионное обследование может быть выполнено двумя способами в зависимости от того, будет ли проводиться дальнейшая компьютерная обработка и корректировка термограммы с целью уточнения температурных полей.

**7.2.15.** Первый способ. Обработка термограммы не планируется или отсутствуют технические возможности для ее проведения. При настройке тепловизора задают максимально точные значения параметров, влияющих на методические погрешности: коэффициент излучения обследуемой поверхности и температуру отраженного излучения. Эти параметры задают согласно 7.2.17 и 7.2.18.

**7.2.16.** Второй способ. Будет проводиться дальнейшая компьютерная обработка термограммы. При настройке тепловизора задают значение коэффициента излучения  $\varepsilon$ . Температуру отраженного излучения задают произвольной, например равной температуре окружающего воздуха.

При использовании данного способа к каждой термограмме прилагают значения температуры реперных участков (реперная температура), измеренной контактным методом и с указанием координаты точек измерения. Данные заносят в журнал.

**7.2.17.** При выполнении термографирования по первому способу (п. 7.2.15) в настройках тепловизора устанавливают значение коэффициента излучения, определенное следующим образом:

– если обследуемая поверхность содержит несколько участков с различными коэффициентами излучения, то коэффициент излучения задают для наиболее практически значимого участка;

– коэффициент излучения задают по справочным значениям для спектрального диапазона длин волн, в котором работает тепловизор, или проводят его измерение. Измерение коэффициента излучения является более предпочтительным. Измерение коэффициента излучения проводят согласно п. 7.2.18.

Значение температуры отраженного излучения, устанавливаемое в настройках тепловизора, определяют следующим образом:

– при внутреннем термографировании температуру задают равной температуре воздуха в помещении, если она поддерживается близкой к постоянной;

– при наружном термографировании незатененных от неба обследуемых вертикальных поверхностей и при отсутствии окружающих объектов с высокой или низкой температурой температуру отраженного излучения задают равной среднему арифметическому между температурой воздуха и радиационной температурой неба;

– при наружном термографировании закрытых от неба обследуемых поверхностей и при отсутствии окружающих объектов с температурой, отличающейся от наружного воздуха более чем на  $5^{\circ}\text{C}$ , температуру отраженного излучения задают равной температуре воздуха;

– во всех остальных случаях температуру отраженного излучения измеряют согласно 7.2.18.

**7.2.18.** На обследуемую поверхность устанавливают фольгу или пленку (маркер) с известным коэффициентом излучения не больше 0,5. Поверхность маркера не должна быть зеркальной. Производят измерение температуры маркера контактным способом. Устанавливают в настройках тепловизора значение коэффициента излучения равным известному для маркера и изменением искомого значения температуры отраженного излучения добиваются совпадения отображаемой на тепловизоре температуры маркера и измеренной контактным способом.

В данных положениях впервые приведены прямые указания, какие следует устанавливать значения коэффициента излучения и температуры отраженного излучения в настройках тепловизора, а также способы их определения. В частности, способ по п. 7.2.16 ориентирован на то, что непосредственно при съемке производится измерение радиационной температуры без ее пересчета с помощью тепловизора на действительную температуру поверхности. В этом случае исключается распространенная ошибка, связанная с тем, что оператор не изменил настройку температуры отраженного излучения при выходе из помещения на улицу или наоборот. Если коэффициент излучения не равен единице, то указаны случаи, в которых температуру отраженного излучения можно не измерять, а также способ ее измерения при необходимости.

### **7.3. Термографирование светопрозрачных конструкций**

**7.3.1.** К светопрозрачным конструкциям относятся окна, балконные двери, витражи, фонари и другие элементы на основе стекла, пропускающие оптическое излучение, а также смежные с ними непрозрачные элементы (переплеты, профили, стоечно-ригельные системы, модульные фасады и др.).

**7.3.2.** Методики настоящего ГОСТа в части тепловизионного контроля светопрозрачных элементов не-

применимы к полупрозрачным по отношению к тепловому излучению светопрозрачных конструкций на основе полиэтилена и поликарбоната.

**7.3.3.** Целью термографирования светопрозрачных конструкций является локализация зон, через которые происходит инфильтрация и эксфильтрация воздуха, а также определение однородных по температуре зон, в которых могут быть проведены измерения плотности тепловых потоков и сопротивления теплопередаче по ГОСТ 25380 и ГОСТ Р 54853.

**7.3.4.** Светопрозрачные конструкции на основе стекла являются непрозрачными, но зеркальными по отношению к тепловому излучению. При термографировании на светопрозрачных частях наблюдается отражение сторонних объектов, радиационная температура которых может значительно различаться. Определить, является ли наблюдаемая тепловизором температурная неоднородность следствием отражения, можно сравнением фотографии и термограммы. Если наблюдаемое на фотографии отражение соответствует по положению неоднородности на термограмме, то полученная температурная неоднородность не является следствием теплотехнических свойств конструкции, а обусловлена изменениями температуры отраженного излучения по поверхности. Такие участки термограмм исключают из анализа и обработки. В случае, если в большей части светопрозрачных конструкций наблюдаются температурные неоднородности, связанные с изменениями температуры отраженного излучения, тепловизионное обследование светопрозрачных частей конструкций в данных условиях не проводят.

**7.3.5.** С целью снижения влияния неоднородности температуры отраженного излучения по 7.3.4 наружное термографирование светопрозрачных частей конструкций рекомендуется проводить в условиях пасмурной погоды. При ясном небе и переменной облачности могут наблюдаться значительные изменения температуры отраженного излучения по поверхности светопрозрачной конструкции.

**7.3.6.** При наличии температурных неоднородностей, обусловленных изменениями температуры отраженного излучения, рекомендуется подвергать термографированию светопрозрачные части несколько раз из разных точек съемки.

**7.3.7.** Для определения температуры отраженного излучения на участке светопрозрачной части конструкции рядом с ним наклеивают металлическую фольгу или клеящую ленту на ее основе (фольгу). За температуру отраженного излучения принимают регистрируемую тепловизором температуру на фольге при заданном значении коэффициента излучения, равном единице.

Данные положения составляют полностью новый подраздел Стандарта. Положения предусматривают

поиск и локализацию участков нарушения герметичности, а также термографирование с целью оценки теплозащитных свойств светопрозрачных ограждающих конструкций. Приведены способы, как различить температурные неоднородности, связанные с теплопередачей и с неоднородностью температуры отраженного излучения, что позволило выделить из термограмм участки, подлежащие анализу.

#### **7.4. Термографирование для локализации зон инфильтрации и эксфильтрации воздуха**

**7.4.1.** Данное термографирование может быть использовано в составе работ, выполняемых по ГОСТ 31167 по определению воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях, на испытательных стендах, а также как самостоятельный метод без определения количественных значений воздухопроницаемости.

**7.4.2.** Для локализации зон инфильтрации и эксфильтрации проводят съемку с получением двух термограмм обследуемого участка ограждающей конструкции. Первая термограмма – в условиях неизменного давления воздуха внутри здания или его помещения, а вторая термограмма – при изменении давления.

**7.4.3.** Изменения давления проводят по методикам ГОСТ 31167 или иным доступным способом с помощью вентиляторов. При нагнетании воздуха в помещение проводят наружное термографирование, а при разрежении воздуха в помещении – внутреннее.

**7.4.4.** Термографирование проводят в условиях температурного перепада не менее 5°C, при изменении давления достигают перепада не менее 5 Па. Измерение температуры наружного и внутреннего воздуха производят до и после термографирования. Перепад давления измеряют до и после его изменения.

**7.4.5.** Локализацию зон инфильтрации и эксфильтрации допускается проводить без использования вентиляторов в естественных условиях. В этом случае ограничиваются однократным термографированием. Температурный перепад должен быть не менее, чем определенный по формуле (1). В естественных условиях может быть обнаружена лишь часть зон инфильтрации и эксфильтрации, соответствующая наличию положительного перепада давления воздуха на данных участках снаружи вовнутрь (для внутренней съемки, инфильтрация) и изнутри наружу (для наружной съемки, эксфильтрация).

**7.4.6.** Поиск и локализацию зон инфильтрации и эксфильтрации проводят термографическим осмотром конструкций, подвергая детальному термографированию участки с локальными температурными аномалиями.

Эти положения являются полностью новыми и регламентируют процедуру термографирования с целью поиска участков фильтрации воздуха. Положения

ссылаются на ГОСТ 31167–2009 «Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях», который определяет методику измерения воздухопроницаемости ограждающих конструкций с помощью нагнетания или вытяжки из помещения воздуха. Тепловизионный метод фактически дополняет методику ГОСТ 31167, позволяя не только определить величину воздухопроницаемости конструкций, но и локализовать участки нарушения герметичности. При этом в рамках Стандарта применение вентиляторов для нагнетания и вытяжки воздуха не обязательно. Для этого может быть использована, например, штатная система принудительной вентиляции здания (помещения). Нагнетание давления, в частности, может быть достигнуто заглушиванием вытяжной части приточно-вытяжной системы вентиляции, и наоборот, разрежение – приточной.

**9.7.** Значение случайной относительной погрешности  $\delta r = \Delta r / r$  определения относительного сопротивления теплопередаче рассчитывают для внутренних и наружных обследований соответственно по формулам (6) и (7) (в новой редакции ГОСТ Р 54852):

$$\delta r = \frac{1}{t_B - \tau_B^6} \sqrt{(1-r)^2 (\Delta t_B^2 + (\Delta \tau_B^6)^2 + \Delta \theta^2) + \Delta \theta^2};$$

$$\delta r = \frac{1}{\tau_H^6 - t_H} \sqrt{(1-r)^2 (\Delta t_H^2 + (\Delta \tau_H^6)^2 + \Delta \theta^2) + \Delta \theta^2},$$

где  $\Delta t_B$  и  $\Delta \tau_B^6$  – значения погрешностей определения температуры внутреннего воздуха и базового участка на внутренней поверхности соответственно;  $\Delta t_H$  и  $\Delta \tau_H^6$  – значения погрешностей определения температуры наружного воздуха и базового участка на наружной поверхности соответственно;  $\Delta \theta$  – предел чувствительности тепловизора.

**9.8.** При наличии реперов температуры воздуха рекомендуется при расчетах по формулам (4)–(7) использовать в качестве температуры воздуха значение температуры репера температуры воздуха на термограмме.

Приведены формулы расчета погрешностей определения относительного сопротивления теплопередаче.

**9.9.** Нарушение теплоизоляции по результатам анализа считают обнаруженным, если исключены иные причины возникновения температурной аномалии, включая инфильтрацию и эксфильтрацию.

Данное положение указывает, что нарушения теплоизоляции и нарушения герметичности – это дефекты разного вида. В частности, температура участков, на которых нарушена герметичность конструкции (наблюдается фильтрация), не подлежит пересчету и использованию в таких критериях, как относительное сопротивление теплопередаче ( $r$ ) и температура поверхности в расчетных условиях ( $\tau^P$ ).

**9.13.** В случае поиска и локализации зон инфильтрации или эксфильтрации по 7.4 зону считают обнаруженной, если:

– температурная аномалия наблюдается на участке, соответствующем элементу конструкции, в котором могут быть нарушения герметичности (уплотнения стеклопакетов, створок, герметизация примыканий к откосам, стыки профилей фасадной или оконной системы, кладочные швы и др.);

– величина температурной аномалии составляет не менее трети температурного перепада;

– имеются термограммы аналогичных участков конструкций с близким температурным перепадом, на которых величина температурной аномалии значительно меньше, чем в анализируемой (в два и более раза).

Данное положение устанавливает критерий того, что по результатам термографирования может считаться зоной фильтрации. Критерий скорее является достаточным, и часть зон фильтрации не будет соответствовать второму пункту, однако других, более мягких критериев обнаружения фильтрации по термограмме, таких чтобы не признавать участками фильтрации «мостики холода» пока не удалось. Критерии, основанные на анализе вида теплового изображения (а не температуры в точке), также могут приводить к ошибочным решениям, так как и вблизи «мостика холода» и вблизи точки фильтрации наблюдаются резкие изменения температуры, которые при выборе шкалы на термограмме могут выглядеть в виде «цветков», «пламени» и т. п. Потому за основной критерий взято то, что участок с фильтрацией – это такой участок, который имеет термограмму, схожую с другими аналогичными по конструкции участками, но с величиной температурной аномалии (отклонение температуры) значительно большей.

**9.14.** Количественные результаты термографирования внутренних поверхностей ограждающих конструкций могут быть пересчитаны на температурные условия, отличные от условий обследования, по формуле (8) (в новой редакции ГОСТ Р 54852):

$$\tau^P = t_B^P - (t'_B - \tau) \frac{t_B^P - t_H^P}{t_B - t_H},$$

где  $\tau^P$  – температура участка ограждающей конструкции в расчетных условиях;  $\tau$  – температура участка, определенная в условиях обследования;  $t_B$  и  $t_H$  – температура внутреннего и наружного воздуха соответственно в условиях обследования;  $t_B^P$  и  $t_H^P$  – температура внутреннего и наружного воздуха соответственно в расчетных условиях;  $t'_B$  – температура, принимаемая равной температуре репера температуры воздуха на термограмме, если он был использован, или принимаемая равной измеренной температуре воздуха.

Разница  $t'_B - \tau$  при использовании реперов температуры воздуха определяется по обработанной термограмме.

**9.15.** Абсолютную погрешность определения температуры в расчетных условиях по (8) определяют по формулам:

а) при использовании реперов температуры воздуха:

$$\Delta \tau^p = \frac{t_B^p - t_H^p}{t_B - t_H} \left( \sqrt{\Delta \theta'^2 + \left( \frac{t'_B - \tau}{t_B - t_H} \right)^2 (\Delta t_B^2 + \Delta t_H^2)} \right);$$

б) без использования реперов температуры воздуха:

$$\Delta \tau^p = \frac{t_B^p - t_H^p}{t_B - t_H} \left( \sqrt{(\Delta t_B^2 + \Delta \tau^2) + \left( \frac{t'_B - \tau}{t_B - t_H} \right)^2 (\Delta t_B^2 + \Delta t_H^2)} \right),$$

где  $\Delta \theta'$  – погрешность определения разницы температуры между репером температуры воздуха и участком поверхности по обработанной термограмме определяется в процессе обработки термограммы (см. Приложение Д);  $\Delta t_B$ ,  $\Delta t_H$  – погрешность определения внутренней и наружной температуры соответственно;  $\Delta \tau$  – погрешность температуры на обработанной термограмме.

Результаты термографирования пересчитывают на расчетные условия с целью проверки соответствия результатов санитарно-гигиеническому требованию СП 50.13330, однако ни данный СП, ни предыдущая редакция ГОСТ Р 54852, ни другие документы такого алгоритма не содержали. Поэтому в новой редакции алгоритм добавлен, причем даны не только формулы пересчета, но и формулы для оценки погрешностей такого пересчета.

**9.17.** Температура участка в расчетных условиях, рассчитываемая по формуле (8), может быть использована для проверки требования необразования конденсата на внутренней поверхности и других требований. В случае если температура в расчетных условиях по формуле (8)  $\tau^p$ , увеличенная на погрешность по формулам (9), (10),  $\Delta \tau^p$  на участке ниже требуемой минимальной температуры, данный участок является дефектным. Границы дефектного участка соответствуют равенству требуемой минимальной температуры и  $\tau^p + \Delta \tau^p$ .

**9.18.** Погрешности определения внутренней и наружной температуры должны учитывать колебания температуры за период, равный характеристическому времени тепловой инерции, определяемому по п. 6.1.2, а также приборную погрешность измерителей температуры. Величины температуры наружного и внутреннего воздуха принимают равной средним значениям за тот же период времени. В случае если для расчетов по формулам (4)–(10) использованы значения температуры на момент обследования, величина отклонения от среднего также должна быть

учтена при расчете погрешности определения температуры воздуха.

**9.19.** Суммарную погрешность определения температуры воздуха (внутреннего и наружного) рассчитывают по формуле:

$$\Delta t = \sqrt{\Delta t_K^2 + \Delta t_O^2 + \Delta t_{II}^2},$$

где  $\Delta t_K$  – среднеквадратическая случайная погрешность;  $\Delta t_O$  – отклонение температуры от средней за период характеристического времени тепловой инерции  $\tau_0$  (п. 6.1.2);  $\Delta t_{II}$  – приборная погрешность измерителя температуры (термошупа-термометра или термогигрометра).

Приведенные здесь положения показывают, каким образом результаты термографирования могут быть применены для оценок границ дефектных зон на поверхности ограждающей конструкции. Под дефектной зоной подразумевается зона, в которой температура поверхности может выйти за пределы, устанавливаемые нормативными требованиями. Например, в расчетных условиях температура может оказаться ниже той, при которой возможно образование конденсата на поверхности. Фактически сформулировано, что с учетом погрешностей определения расчетной температуры границы дефектных зон могут быть определены с той или иной степенью достоверности. Чем выше точность пересчета на расчетные условия, тем более достоверно определены границы дефектных зон. Точность пересчета зависит от перепада температуры между наружным и внутренним воздухом, степени стационарности теплопередачи, приборной точности измерителей температуры и тепловизора.

Переработанная редакция Стандарта также содержит измененные и новые приложения:

– Приложение В (справочное): Характеристическое время тепловой инерции и метод его оценки для многослойных конструкций;

– Приложение Д (обязательное): Способ пересчета температуры на термограммах.

В предыдущей редакции Приложение В касалось тепловизионных измерений в условиях дымки и дождя. Данное приложение было исключено, поскольку, по мнению специалистов, такие измерения практически не проводятся. Вместо него разработаны положения, показывающие, каким образом при проведении тепловизионных обследований можно учитывать нестационарность теплопереноса.

В приложении Д пересчет температуры на термограммах, использующий тепловой баланс на приемнике излучения, заменен на пересчет с использованием сдвига температурной шкалы по известным температурам реперов. При этом температура одного из реперов используется непосредственно для сдвига температурной шкалы (изменение температуры во всех точках

термограммы на заданную величину), а второго – для оценки погрешности полученной термограммы.

### Выводы

1. Проанализирована нормативная документация в части регулирования методов контроля теплозащитных свойств зданий и сооружений.

2. Установлена роль тепловизионных обследований при тепловом контроле. Показано, что действующая нормативная документация по тепловизионным обследованиям имеет недоработки.

3. Основные недоработки устранены пересмотром ГОСТ Р 54852–2011. Приведены переработанные положения ГОСТ Р 54852 с комментариями.

### Список литературы

1. Лазуренко Н.В., Кямьяра А.Р. Контроль качества теплозащиты зданий с помощью контактного и бесконтактного методов исследования // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2007. № 44. С. 30–35.
2. Дыбок В.В., Кямьяра А.Р., Лазуренко Н.В. Тепловая диагностика ограждающих конструкций зданий и сооружений в натуральных условиях // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2011. № 17. С. 14–19.
3. Зимин А.Н., Бочков И.В., Крышов С.И., Умнякова Н.П. Сопротивление теплопередаче и температура на внутренних поверхностях светопрозрачных ограждающих конструкций жилых зданий г. Москвы // *Жилищное строительство*. 2019. № 6. С. 24–29.
4. Кравчук А.Н. Контроль энергоэффективности при осуществлении государственного строительного надзора // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. 2015. № 3 (164). С. 68–71.
5. Крышов С.И., Куриллюк И.С. О фактических показателях энергоэффективности зданий. Причины и пути устранения несоответствия нормативам // *Энергосбережение*. 2018. № 4. С. 38–45.
6. Li F.G.N., Smith A.Z.P., Biddulph P., Hamilton I., Lowe R., Mavrogianni A., Oikonomou E., Raslan R., Stamp S., Stone A. et al. Solid-wall U-values: Heat flux measurements compared with standard assumptions // *Building Research and Information*. 2015. No. 43, pp. 238–252.
7. Papadopoulos A.M.; Konstantinidou C.V. Thermal insulation and thermal storage in a building's envelope: A question of location // *Building and Environment*. 2008. No. 43, pp. 166–175.
8. Jack Hulme & Sean Doran BRE. In-situ measurements of wall U-Values in English Housing. 2014. P. 76–37. Apostolska R. Measurement of heat-flux of new type facade walls // *Sustainability*. 2016. Vol. 8 (10), 1031.
9. Крышов С.И., Куриллюк И.С. Оценка теплозащиты наружных ограждающих конструкций зданий // *Энергосбережение*. 2018. № 3. С. 12–17.
10. Данилевский Л.Н., Данилевский С.Л. Определение теплотехнических характеристик и энергетиче-

### References

1. Lazurenko N.V., Kyamyarya A.R. Quality control of thermal protection of buildings using contact and non-contact research methods. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*. 2007. No. 44, pp. 30–35. (In Russian).
2. Dybok V.V., Kyamyarya A.R., Lazurenko N.V. Thermal diagnostics of building envelopes and structures in natural conditions. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2011. No. 17, pp. 14–19. (In Russian).
3. Zimin A.N., Bochkov I.V., Kryshov S.I., Umnyakova N.P. Resistance to heat transfer and temperature on the inner surfaces of translucent enclosing structures of residential buildings in Moscow. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Constructions]. 2019. No. 6, pp. 24–29. (In Russian).
4. Kravchuk A.N. Energy efficiency control in the implementation of state construction supervision. *Santekhnika, otopenie, konditsionirovanie*. 2015. No. 3 (164), pp. 68–71. (In Russian).
5. Kryshov S.I., Kurilyuk I.S. On the actual indicators of the energy efficiency of buildings. Reasons and remedies for non-compliance. *Energoberezhnie*. 2018. No. 4. С. 38–45. (In Russian).
6. Li F.G.N., Smith A.Z.P., Biddulph P., Hamilton I., Lowe R., Mavrogianni A., Oikonomou E., Raslan R., Stamp S., Stone A. et al. Solid-wall U-values: Heat flux measurements compared with standard assumptions. *Building Research and Information*. 2015, No. 43, pp. 238–252.
7. Papadopoulos, A.M.; Konstantinidou, C.V. Thermal insulation and thermal storage in a building's envelope: A question of location. *Building and Environment*. 2008. No. 43, pp. 166–175.
8. Jack Hulme & Sean Doran BRE. In-situ measurements of wall U-Values in English Housing. 2014. P. 76–37. Apostolska R. Measurement of heat-flux of new type facade walls. *Sustainability*. 2016. Vol. 8 (10). 1031.
9. Kryshov S.I., Kurilyuk I.S. Assessment of thermal protection of external building envelopes. *Energoberezhnie*. 2018. No. 3. С. 12–17. (In Russian).
10. Danilevskii L.N., Danilevskii S.L. Determination of thermal characteristics and energy classification of

- ческая классификация эксплуатируемых жилых зданий // *БСТ*. 2016. № 6. С. 45–47.
11. Ливчак В.И. Об экспериментальной оценке показателя энергоэффективности многоквартирных зданий // *Энергосбережение*. 2018. № 5. С. 32–38.
  12. Наумов А.Л., Капко Д.В. Определение класса энергетической эффективности эксплуатируемых жилых многоквартирных домов // *Энергосбережение*. 2015. № 8. С. 16–19.
  13. Balaras C., Argiriou A. Infrared thermography for building diagnostics // *Energy and Buildings*. 2002. 34 (2), pp. 171–183.
  14. Салов А.С., Гайнанова Э.С. Особенности мониторинга и проведения обследования теплотехнического состояния строительных конструкций // *Вестник Евразийской науки*. 2019. № 1. <https://esj.today/PDF/59SAVN119.pdf>
  15. Лебедев О.В., Поздняк В.С. и др. Практика применения теплового неразрушающего контроля при энергетических обследованиях многоквартирных жилых домов. Магнитогорск: ООО «ВЕЛД», 2014. 40 с.
  16. Девятникова Л.А., Зайцева М.И., Мухин С.Ю. Анализ теплотехнических свойств наружной стены на основе тепловизионной съемки // *Resources and Technology*. 2016. 13 (3). С. 30–41.
  17. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии. М.: НИИСФ РААСН, 2012. 176 с.
  18. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М.: Спектр, 2009. 387 с.
  19. Левин Е.В., Окунев А.Ю. К вопросу об определении распределения температур на поверхности строительных объектов тепловизионным методом // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. С. 245–256.
  20. Левин Е.В., Окунев А.Ю. Исследование точности измерения температуры на основе анализа энергетического баланса на приемнике излучения ИК прибора // *Измерительная техника*. 2015. № 5. С. 48–52.
  21. Окунев А.Ю., Левин Е.В. Ошибки при тепловизионной съемке внутренних поверхностей ограждающих конструкций // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4 (364). С. 221–229.
  22. Левин Е.В., Окунев А.Ю. Тепловизионные обследования строительных объектов. Методические погрешности, возникающие за счет неопределенности коэффициента эмиссии в условиях различного фонового излучения // *БСТ*. 2016. № 6 (982). С. 30–33.
  - operated residential buildings. *Byulletn' stroitel'noi tekhniki (BST)*. 2016. No. 6. pp. 45–47. (In Russian).
  11. Livchak V.I. On an experimental assessment of the energy efficiency indicator of multi-apartment buildings. *Energoberezhnie*. 2018. No. 5, pp. 32–38. (In Russian).
  12. Naumov A.L., Kapko D.V. Determination of the energy efficiency class of operated residential apartment buildings. *Energoberezhnie*. 2015. No. 8, pp. 16–19. (In Russian).
  13. Balaras C., Argiriou A. Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings*. 2002. 34 (2), pp. 171–183.
  14. Salov A.S., Gainanova E.S. Features of monitoring and inspection of the thermal state of building structures. *Vestnik Evraziiskoi nauki*. 2019. No. 1. <https://esj.today/PDF/59SAVN119.pdf>
  15. Lebedev O.V., Pozdnyak V.S. Praktika primeneniya teplovogo nerazrushayushchego kontrolya pri energeticheskikh obsledovaniyakh mnogokvartirnykh zhilykh domov [The practice of using thermal non-destructive testing in energy inspections of apartment buildings]. Magnitogorsk: VELD, 2014. 40 p.
  16. Devyatnikova L.A., Zaitseva M.I., Mukhin S.Yu. Analysis of the thermal properties of the outer wall based on thermal imaging. *Resources and Technology*. 2016. 13 (3), pp. 30–41.
  17. Levin E.V., Okunev A.Yu., Umnyakova N.P., Shubin I.L. Osnovy sovremennoi stroitel'noi termografii. [Fundamentals of modern building thermography]. Moscow: NIISF RAASN. 2012. 176 p.
  18. Vavilov V.P. Infirakrasnaya termografiya i teplovoi kontrol [Infrared thermography and thermal control]. Moscow: Spektr. 2009. 387 p.
  19. Levin E.V., Okunev A.Yu. To the question of determining the temperature distribution on the surface of construction objects by the thermal imaging method. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3, pp. 245–256. (In Russian).
  20. Levin E.V., Okunev A.Yu. Investigation of the temperature measurement accuracy based on the analysis of the energy balance at the radiation receiver of the IR device. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2015. No. 5, pp. 48–52. (In Russian).
  21. Okunev A.Yu., Levin E.V. Errors in thermal imaging of internal surfaces of enclosing structures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2016. No. 4 (364), pp. 221–229. (In Russian).
  22. Levin E.V., Okunev A.Yu. Thermal imaging surveys of construction sites. Methodological errors arising from the uncertainty of the emission coefficient under conditions of various background radiation. *BST: Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2016. No. 6 (982), pp. 30–33. (In Russian).

УДК 551.521.16

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-42-50>

Е.В. ГОРБАРЕНКО<sup>1,2</sup>, канд. геогр. наук (catgor@mail.ru)

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет  
(119991, г. Москва, Ленинские горы)

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

## Возможные различия в нормативных и действительных значениях естественной освещенности, вызванные неучетом реальных условий облачности

*Определены и проанализированы метеорологические параметры, характеризующие наличие пасмурного неба. Показано, что состояние пасмурного неба не является типичным ни для каких территорий России. Во внутригодовом распределении облачности можно выделить периоды с преобладанием ясного или пасмурного неба, меняющиеся в зависимости от циркуляционных процессов. Для Москвы можно принять за преобладающее состояние облачности пасмурное небо только в осенне-зимний период. По данным многолетних наблюдений Метеорологической обсерватории МГУ проведена оценка освещенности горизонтальных и вертикальных поверхностей при ясном, пасмурном небе и при средних условиях облачности. Освещенность земной поверхности в условиях пасмурного неба и при средних условиях облачности может различаться до 50%, а освещенность стен различной ориентации – в несколько раз. В период залегания снежного покрова при сплошной облачности нижнего яруса за счет многократного переотражения от снега и облаков отраженная составляющая освещенности увеличивается до 30% и более. Эти оценки с учетом повторяемости пасмурного неба дают представление о расхождении реальных данных от значений, представленных в нормативных документах. Для рационального использования природных световых ресурсов в различных географических регионах необходимо учитывать реальный режим облачности.*

**Ключевые слова:** световые ресурсы, нормы, многолетние наблюдения, освещенность, облачность.

**Для цитирования:** Горбаренко Е.В. Возможные различия в нормативных и действительных значениях естественной освещенности, вызванные неучетом реальных условий облачности // *Жилищное строительство*. 2021. № 6. С. 42–50. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-42-50>

E.V. GORBARENKO<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Geography)

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University. Faculty of Geography (Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation)

<sup>2</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivnyi Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Possible Differences in the Standard and Actual Values of Natural Illumination Caused by Not Taking Into Account the Actual Cloud Conditions

The meteorological parameters characterizing the presence of a cloudy sky have been determined and analyzed. It is shown that the state of cloudy sky is not typical for any territories of Russia. In the intra-annual distribution of cloudiness, it is possible to distinguish periods with a predominance of clear or cloudy skies, which vary depending on the circulation processes. For Moscow, one can take a cloudy sky for the prevailing cloudiness only in the autumn-winter period. Based on the data of long-term observations of the Meteorological Observatory of Moscow State University, an assessment of the illumination of horizontal and vertical surfaces was carried out for a clear, cloudy sky and under average cloudy conditions. The illumination of the earth's surface under cloudy skies and under average cloudy conditions can differ by up to 50%, and the illumination of walls of various orientations can differ several times. During the period of snow cover, with continuous cloudiness of the lower tier, due to multiple re-reflection from snow and clouds, the reflected component of illumination increases to 30% or more. These estimates, taking into account the repeatability of the cloudy sky, give an idea of the discrepancy between the real data and the values presented in the regulatory documents. For the rational use of natural light resources in different geographic regions, it is necessary to take into account the real cloud conditions.

**Keywords:** light resources, norms, long-term observations, illumination, cloudiness.

**For citation:** Gorbarenko E.V. Possible differences in the standard and actual values of natural illumination caused by not taking into account the actual cloud conditions. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 6, pp. 42–50. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-42-50>

Рациональное использование ресурсов солнечной радиации с учетом особенностей регионального климата при проектировании строений различного назначения и обеспечение светового комфорта внутри помещений при минимальных энергетических затратах являются важной проблемой в строительной отрасли [1–3]. Основные требования к освещению внутри помещений регламентированы в строительных и санитарных нормах. Нормируемым показателем естественного освещения помещений принят коэффициент естественной освещенности (КЕО). КЕО показывает, какая часть наружной освещенности на горизонтальной открытой поверхности может быть получена в помещении. Международная комиссия по освещению рекомендовала за основу расчетов принимать освещенность от небесного свода равномерной яркости при пасмурном небе [4]. Это условие не отражает реальной картины пространственно-временной изменчивости световых ресурсов в разных географических регионах, так как не учитываются их метеорологические условия, прежде всего внутригодовое распределение облачности и изменение отражательных свойств подстилающей поверхности. Недостаточно дифференцированные нормы естественного освещения без учета особенностей климата различных регионов могут приводить к необоснованным строительным решениям [5, 6]. Например, большие площади остекления фасадов во всех климатических зонах: в теплых климатах это ведет к затратам энергии на кондиционирование; в более высоких широтах – на обогрев. В настоящее время во многих странах с целью более рационального использования светового ресурса разрабатываются методики, позволяющие делать оценки с учетом освещенности при действительных условиях облачности [6, 7, 8].

В предлагаемой статье на основе многолетних наблюдений в Метеорологической обсерватории географического факультета МГУ (МО МГУ) определены метеорологические параметры, характеризующие наличие пасмурного неба, проанализирована его повторяемость и внутригодовое распределение. Проведена выборка данных по освещенности для различных условий облачности и состоянию подстилающей поверхности. На их основе оценены разности в освещении земной поверхности при ясном небе, при средних условиях облачности относительно пасмурного неба. Эти оценки с учетом повторяемости пасмурного неба дают представление об отличии реальных данных от значений, представленных в нормативных документах. В работе приведена информация о повторяемости пасмурного неба в различных регионах по справочным данным.

*Световой режим территории формируется под влиянием нескольких факторов. Периодические су-*

точные и годовые изменения естественной освещенности обусловлены астрономическими факторами: географическим положением, продолжительностью светового дня и высотой солнца над горизонтом. Эти факторы определяют возможную продолжительность солнечного сияния. Главными метеорологическими факторами являются: балл и пространственная структура облачности, аэрозольная замутненность, состояние подстилающей поверхности, ее отражающие свойства. Облачность – наиболее существенный фактор, нарушающий астрономически обусловленные периодические изменения продолжительности солнечного сияния, всех радиационных потоков и освещенности земной поверхности.

МО МГУ располагает уникальным комплексом непрерывных актинометрических и метеорологических наблюдений, начатых в 1955 г. Здесь проводятся ежечасные наблюдения за количеством и формой облаков, состоянием диска солнца, атмосферными явлениями. В качестве характеристик, наиболее полно отражающих условия определенного состояния неба, рассматриваются следующие параметры: количество (балл) и форма облаков, повторяемость облаков различных ярусов и форм по градациям: ясно (от 0 до 2 баллов), полужасно (от 3 до 7 баллов) и пасмурно (от 8 до 10 баллов с просветами). Средние значения балла облаков за выбранный промежуток времени характеризуют средние (действительные) условия облачности региона. В работе приводятся оценки действительных условий облачности в течение суток, года. Проанализирована повторяемость сплошного покрова облаков нижнего яруса (10/10) во все месяцы года.

Косвенной оценкой состояния неба может служить продолжительность солнечного сияния (ПСС). Информация о продолжительности солнечного сияния (ПСС) на станциях рассчитывается на основе записей гелиографа универсальной модели Кэмпбелла–Стокса. Принцип его действия основан на том, что сфокусированные с помощью стеклянного шара солнечные лучи прожигают специальную бумажную ленту прибора. По суммарной длине прожога на ленте определяется ПСС в часах за сутки. По измеренным значениям ПСС рассчитывается относительная продолжительность солнечного сияния: это отношение наблюдающейся к возможной ПСС, выраженное в процентах. Характеристикой солнечного сияния также является число дней без солнца, когда солнечное сияние отсутствует в течение дня.

Определить состояние неба возможно по соотношению прямой (S) и рассеянной (D) радиации в суммарном потоке (Q). При пасмурном небе солнечная радиация доходит до земной поверхности только в виде рассеянной радиации. Подробное описание ак-

тинометрических наблюдений, проводимых МО МГУ, представлено на сайте [www.momsu.ru](http://www.momsu.ru) и в [9]. Подобные наблюдения проводятся на актинометрических станциях, что позволяет оценить повторяемость пасмурного неба на различных территориях. В качестве характеристики аэрозольной мутности атмосферы используется аэрозольная оптическая толщины атмосферы, рассчитанная по данным измерений интегральной прямой солнечной радиации с учетом общего влагосодержания атмосферы. Для оценки отражательных свойств подстилающей поверхности (альbedo поверхности) были использованы актинометрические наблюдения. Альbedo зависит от состояния поверхности и равно отношению отраженной радиации к суммарной:  $A_k = R_k / Q$ . Величина альbedo выражается в долях единицы или в процентах.

Анализ данных естественной освещенности основан на многолетних наблюдениях МО МГУ, где с 1964 г. проводятся регулярные непрерывные световые наблюдения. До 2012 г. непрерывная регистрация проводилась приборами, разработанными инженерами МО МГУ (регистратор естественного освещения – РЕО), велись измерения рассеянной и суммарной освещенности. С 2012 г. контрольным прибором служит фотометр LI-210SL фирмы «LI-COR» (США) ([www.licor.com](http://www.licor.com)). В настоящее время ведутся наблюдения за суммарной освещенностью горизонтальной поверхности и освещенностью вертикальных поверхностей. Наблюдения за освещенностью различно ориентированных по сторонам горизонта вертикальных поверхностей проводятся с помощью фотометра Daylight Photometer Head Model 910GV фирмы PRC Krochman GmbH (Германия). Контрольный датчик освещенности МО МГУ проходит регулярную поверку по рабочему эталону первого разряда, предоставленному ФБГУ ГГО. Наблюдения за освещенностью проводятся в режиме непрерывной регистрации с дискретностью одна минута.

#### **Анализ данных.**

#### **Оценка повторяемости пасмурного неба в Москве**

По принятому делению на градации балла облачности пасмурным считается небо с баллом нижней облачности от 8 до 10 баллов. При такой облачности возможны ситуации, когда солнечный диск не закрыт облаками и распределение яркости по небосводу может существенно различаться. Показателем наличия прямой солнечной радиации в таких случаях может служить ПСС. Только при десятибалльной облачности нижнего яруса наблюдается полное отсутствие ПСС и более равномерное распределение яркости. При этом разные формы облаков нижнего яруса имеют различную оптическую плотность, а следователь-

но, по-разному перераспределяют световой поток к земной поверхности.

В формировании поля облаков первостепенную роль играют синоптические процессы. Пасмурное небо характерно для фронтальных облаков скольжения нижнего яруса: слоистых (St), слоисто-дождевых (Ns) и слоисто-кучевых (Sc) облаков. Фронтальные облака не имеют выраженного суточного хода. Суточный ход характерен для облаков вертикального развития, слоистых облаков и туманов, так как основной причиной их образования являются суточные изменения в термическом режиме почвы. Облака вертикального развития в редких случаях закрывают весь небосвод. Образование слоистых облаков вызвано охлаждением нижнего слоя воздуха от подстилающей поверхности, их повторяемость имеет максимум утром. В годовом ходе общей и нижней облачности максимум количества облаков и наибольшая повторяемость пасмурного неба приходится на зиму, когда наиболее развита циклоническая деятельность, а минимум – на лето, когда преобладают облака вертикального развития (табл. 1, рис. 1, а). Пасмурное небо наблюдается и при туманах. Повторяемость туманов особенно высока в осенне-зимний период (сентябрь–ноябрь) и заметно снижается летом. В целом за год повторяемость градации нижней облачности 8/10 с просветами составляет 28%, 10/10 – 15% [10]. Наиболее часто наблюдаются слоисто-кучевые облака и всевозможные их сочетания с другими формами (более 30%).

Самым пасмурным месяцем в году является декабрь: среднее значение относительной ПСС – 4%, число дней без солнца – 23. Самым темным месяцем за весь период наблюдений был декабрь 1968 г., солнце не показывалось на небосводе Москвы в течение всего месяца, а в декабре 2017 г. ПСС составила только 6 мин. Самым светлым был декабрь 2002 г., месячная сумма ПСС – 55 ч, это 25% возможного значения. Самым солнечным является период с мая по август, когда средние значения ПСС достигают 52–55%, а максимальные – выше 70% возможной ПСС. В соответствии с ПСС и внутригодовой изменчивостью облачности в период с октября по март в суммарном потоке преобладает рассеянная радиация (табл. 1). Межсуточная изменчивость балла облачности и ПСС значительна, в отдельные дни пасмурное небо отмечается в течение всего дня. В среднем за год таких дней 108. В ноябре и в зимние месяцы года вероятность отсутствия солнечного сияния в течение всего дня более 50%, в летние месяцы не наблюдается солнечное сияние один-два дня (табл. 1).

В настоящее время в Москве наблюдается тенденция к уменьшению количества облаков нижнего яруса, причем такая тенденция отмечается и на дру-

Таблица 1  
Table 1

Метеорологические величины, характеризующие состояние неба  
Meteorological values characterizing the state of the sky

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ПСС час.													
Сред.	31,6	64,4	138	182,3	267,7	282,9	285,1	244,7	150,6	76,4	32,8	19	1775
Мин.	7,6	22,7	65,9	92,4	123,3	159,9	191,7	130,6	57,3	18	7,9	0	1478
Год	1966	1991	1976	1986	1980	2003	1993	1960	1990	1982	1976	1968	1980
Макс.	78	152,2	208,4	258,4	378,2	404,8	411,2	352,7	226,5	148,7	81,1	55	2168
Год	1973	1969	1996	2014	2002	1999	2014	2018	1974	2005	1958	2002	2014
ПСС, % от возможного													
Сред.	12	16	33	26	57	64	46	47	46	16	14	4	40
Число дней без солнца													
Сред.	19	13	8	5	2	1	1	2	5	11	19	23	108
Балл общей облачности													
Сред.	8,8	8,3	8	8	7,3	7,5	7,3	7,2	8,1	8,7	9,1	9,1	7,8
Мин.	6,2	4,7	5,6	5,3	5,5	4,9	5,1	4,8	6,5	7,2	7,4	7,3	7
Год	1973	1969	1969	1965	1970	1999	2010	1996	1974	1987	1975	1985	1972
Макс.	9,9	9,7	9,3	9,4	9,2	8,9	9,2	8,8	9,7	9,8	9,9	10	8,6
Год	2004	2002	1988	1973	1980	2005	2013	1987	2013	2006	2010	2000, 2017	2013
Балл нижней облачности													
Сред.	7,1	6,3	5,5	5,1	4,6	5	4,9	4,8	5,8	7	8	8	6
Мин.	3,6	1,7	2,8	3,2	2,8	2,9	2,3	3,2	3,3	4,4	5,3	5,3	4,8
Год	1973	1969	1969	2014	1967	1972	1996, 2010	1974	1974	1987	1967	2002	1967
Макс.	9,1	8,8	7,4	7,3	7,7	7,2	6,6	7	8,4	9,3	9,4	9,7	6,8
Год	1994	1990	1978	1986	1980	2003	1979	1980	2013	1982	2003	2000	1990
Отношение D/Q, %													
Сред.	82	72	60	56	50	50	51	52	59	69	79	88	55
Мин.	57	49	42	40	31	35	32	33	44	48	54	73	44
Год	1973	1969	1996	1965	2002	1999	2010	2018	2018	2005	2018	2012	2018
Макс.	93	89	80	77	74	68	64	65	80	91	95	100	64
Год	1975, 2004	1991	1976	1983	1980	2003	1993	1958	1990	1982	1976	1968	1980

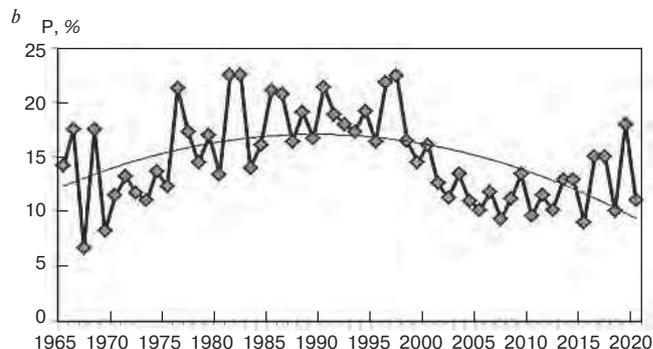
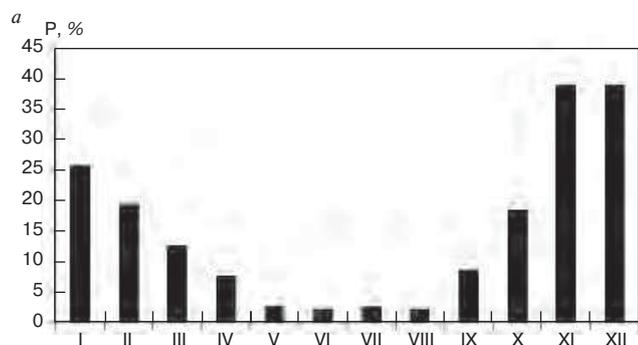


Рис. 1. Повторяемость пасмурного неба (10/10 баллов): а – годовой ход; б – многолетние изменения  
Fig. 1. Repeatability of cloudy sky (10/10 points): а – annual course; б – multi-year changes

гих территориях. Облачность в нижнем ярусе уменьшается главным образом из-за значительного (более чем в два раза) уменьшения повторяемости сплошной нижней облачности (рис. 1, б), т. е. уменьшения случаев пасмурного неба.

**Оценка повторяемости пасмурного неба  
в различных регионах России**

Пространственное распределение количества и форм облаков по территории России неравномерно и определяется особенностями циркуляции атмосферы

Таблица 2  
Table 2Повторяемость (%) пасмурного состояния неба по нижней облачности  
Repeatability (%) of the overcast state of the sky by the lower cloud

Город	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Архангельск	53	47	41	36	39	33	32	39	51	63	68	62
Вологда	57	49	42	37	35	29	31	33	47	65	73	69
Ленинград	66	58	45	41	32	31	31	32	44	64	77	74
Тула	47	47	50	40	25	22	27	25	40	55	74	68
Воронеж	50	48	55	33	24	22	24	19	29	46	72	72
Пермь	49	37	36	32	32	31	30	35	45	66	66	56
Свердловск	29	22	27	28	29	30	28	31	38	52	45	40
Верхоянск	2	1	1	3	17	22	23	26	27	14	4	2
Якутск	20	12	4	10	24	23	21	24	30	36	13	19
Анадырь	21	18	14	19	36	35	37	42	40	33	27	18
Магадан	14	13	9	26	39	47	48	47	40	28	24	19
Усть-Камчатск	51	51	45	44	56	63	64	58	49	38	38	48

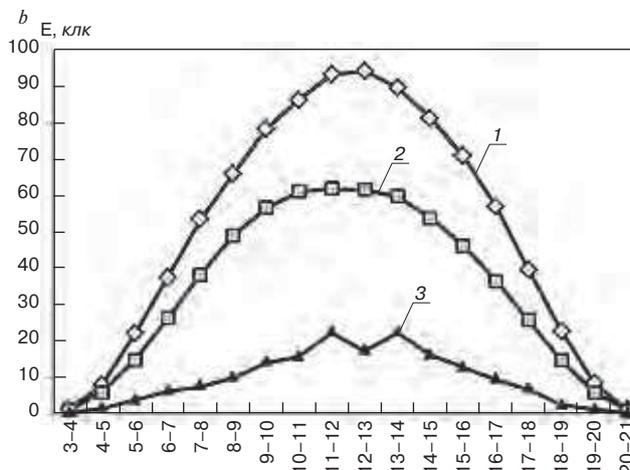
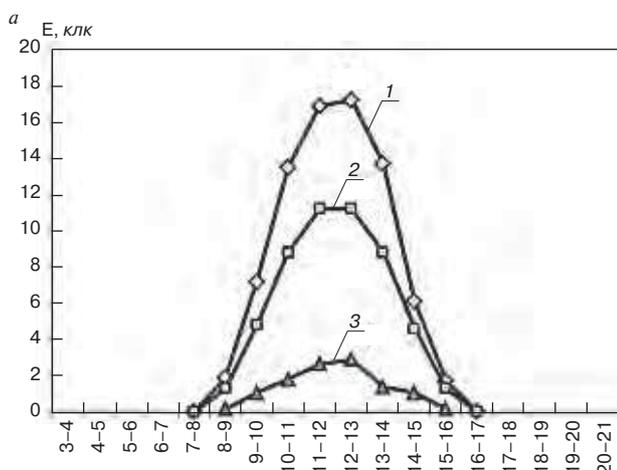


Рис. 2. Суточный ход освещенности земной поверхности: ясное небо (1), средние условия облачности (2), пасмурный день (3): а – зима; б – лето

Fig. 2. Daily course of illumination of the earth's surface: clear sky (1), average cloud conditions (2), cloudy day (3): a – winter; b – summer

в том или ином климатическом регионе. Оценить повторяемость пасмурного неба над различными территориями возможно по климатическим обобщениям ежедневных визуальных наблюдений параметров облачности по данным справочников [11]. Для примера в табл. 2 приведены данные нескольких пунктов, расположенных в различных географических районах России.

Значительная облачность в течение года (от 6 до 7 баллов и более) отмечается на всей европейской территории и распространяется на Западную Сибирь, достигая оз. Байкал. Восточная Сибирь характеризуется меньшим среднегодовым баллом 5–6 баллов, на крайнем юге региона <5 баллов (Читинская обл., Бурятия), так как весь этот сравнительно малооблачный регион приходится на сферу действия азиатского антициклона. Выделяется малооблачная полоса, вытянутая в меридиональном направлении непосредственно за Уралом. Во внутригодовой изменчивости облачности на разных станциях наблюдается преобладание

пасмурного неба в отдельные месяцы года. На Европейской части России годовой ход повторяемости пасмурного состояния неба характеризуется наименьшими значениями летом (в разных районах это может быть июнь–июль или июль–август) и максимальными поздней осенью и зимой (ноябрь–декабрь). Прямо противоположное распределение повторяемости пасмурной погоды наблюдается на Дальнем Востоке, Сахалине и Камчатке, определяемое муссонной циркуляцией в регионе. Наибольшее среднее месячное количество облаков приходится на июль, когда действует юго-восточный летний муссон; минимум облачности отмечается в январе, когда поступает выхоложенный континентальный воздух с материка (табл. 2).

Таким образом, состояние пасмурного неба не является преобладающим ни на каких территориях России. Климатические особенности региона наряду с астрономическими факторами определяют существенные различия светового режима различных физико-географических регионов [12–14].

Таблица 3  
Table 3

Годовой ход отношения освещенности при пасмурном небе к освещенности при ясном небе  
Annual course of the ratio of illumination when the sky is overcast to illumination with a clear sky

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднее	0,32	0,27	0,26	0,22	0,17	0,14	0,16	0,15	0,16	0,2	0,25	0,2
$\sigma$	0,1	0,09	0,09	0,09	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07
n	250	185	108	19	36	23	21	25	96	170	186	66
V%	30	32	33	38	38	37	27	35	38	37	33	36
Мин.	0,12	0,1	0,1	0,12	0,07	0,05	0,08	0,07	0,06	0,05	0,07	0,09
Макс.	0,64	0,54	0,6	0,46	0,37	0,27	0,24	0,27	0,4	0,44	0,53	0,43

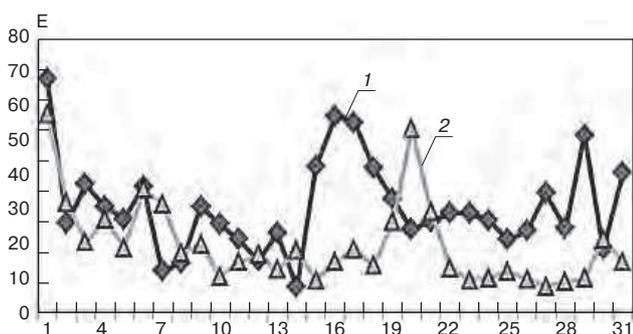


Рис. 3. Межсуточная изменчивость в декабре: 1 – 2018 г.; 2 – 2019 г.

Fig. 3. Interdiurnal variability E in December: 1 – 2018; 2 – 2019

### Влияние облачности на освещенность земной поверхности

Для анализа влияния облачности на освещенность земной поверхности были выделены часовые периоды пасмурного неба для разных сезонов, с учетом высоты солнца подобраны значения освещенности при ясном небе. В качестве количественного показателя влияния облаков на освещенность рассматривается отношение освещенности при облаках к освещенности при их отсутствии (табл. 3).

Освещенность земной поверхности при пасмурном небе при прочих равных условиях составляет меньшую часть по сравнению с ясным небом и меняется в течение года от 14% в июне до 32% в январе.

На рис. 2 приведен суточный ход освещенности подстилающей поверхности зимой (январь) и летом (июнь) для различных условий облачности. Возможная освещенность, E при ясном небе, зависит от астрономических факторов и прозрачности атмосферы для солнечных лучей. Изменчивость прозрачности атмосферы в нормальных условиях практически не влияет на освещенность. Это влияние начинает проявляться в условиях экстремального загрязнения атмосферы в период вулканических извержений, лесных и торфяных пожаров. Сопоставление уровней освещения при мгле и при пасмурном небе показало, что в среднем для периода с дымной мглой уровень освещения соответствует значениям E, которые наблюдаются при тонких слоисто-кучевых облаках. Естественная ос-

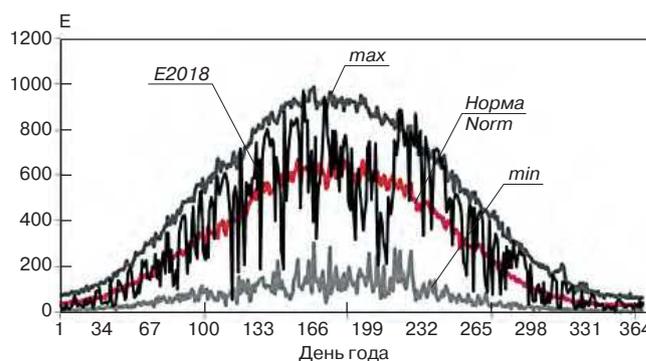


Рис. 4. Освещенность земной поверхности за каждый день, клк·ч  
Fig. 4. Illumination of the earth's surface for each day, клк·ч

вещенность в безоблачной атмосфере при максимальном загрязнении атмосферы 7 августа 2010 г. соответствовала величине освещенности, которая обычно наблюдается при сплошном покрове плотных слоисто-кучевых облаков [15]. При оценке средних условий облачности проводилось осреднение данных за 50 лет при всех действительных условиях облачности, т. е. в эту выборку попадали ясные и пасмурные условия, переменная облачность. Освещенность при средних условиях в полтора-два раза меньше относительно возможных значений. В дни с дождевой облачностью освещенность земной поверхности в пять раз ниже освещенности при средних условиях облачности и практически в десять раз меньше возможных значений E (рис. 2). При сплошной облачности нижнего яруса освещенность земной поверхности меняется в зависимости от форм облаков, которые характеризуются разной и переменной оптической плотностью. Наиболее оптически «прозрачна» слоисто-кучевая облачность; самые «темные» дождевые формы облаков, поступление световой энергии на 90% меньше по сравнению с условиями ясного неба.

Составляющая освещенности, связанная с отражением от подстилающей поверхности, зависит от ее альбедо. В условиях ясного неба при одной и той же высоте солнца величина освещенности при снеге на 15–20% больше E при траве. Еще более значительный рост освещенности наблюдается при сплошной облачности нижнего яруса за счет многократного переотра-

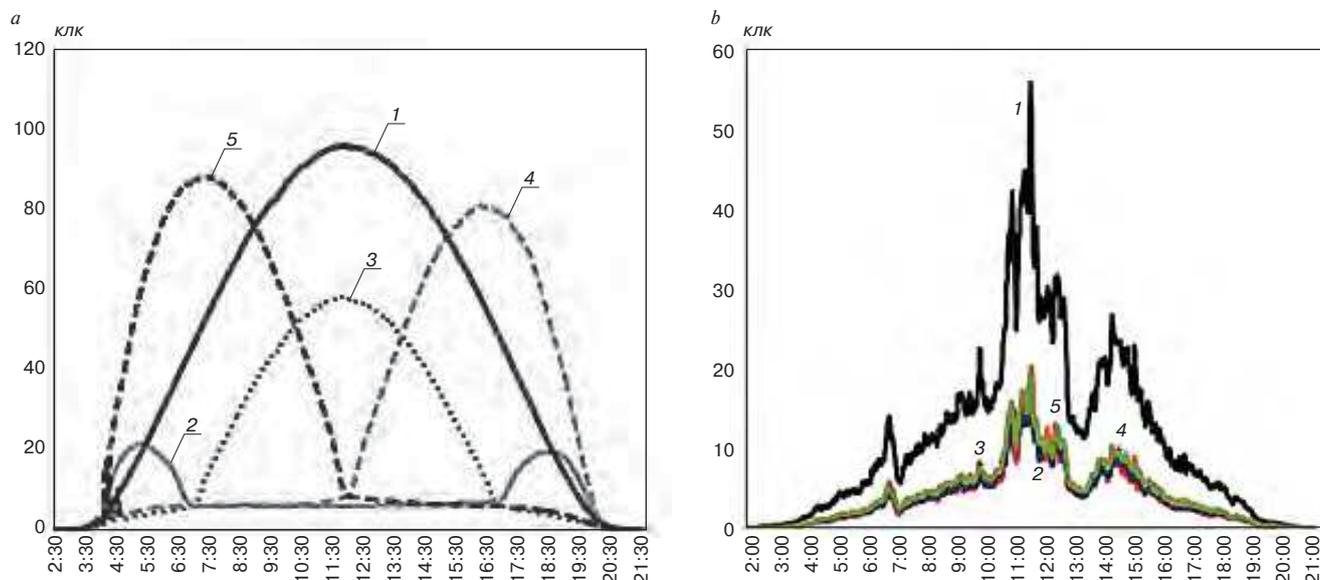


Рис. 5. Суточный ход естественной освещенности (по минутным данным): на горизонтальной (1), северной (2), южной (3), западной (4) и восточной (5) поверхностях: а – лето, ясно; б – лето, пасмурно [16]

Fig. 5. Daily course of natural illumination (according to minute data): on the horizontal (1), northern (2), southern (3), western (4) and eastern (5) surfaces: a – summer, clear; b – summer, cloudy [16]

жения от снега и облаков: при альбедо  $A > 70\%$  разница в  $E$  может достигать 30% и более. Интересно сравнить декабрьские значения  $E$  для двух лет. Декабрь 2018 г. – снежный зимний месяц, альбедо – 61%; в декабре 2019 г. площадка МО МГУ покрыта зеленой травой. Средняя суточная декабрьская освещенность в 2018 г. – 31 клк, в 2019 г. – 19,9 клк. В дни с одинаковым состоянием облачного неба разница в освещенности достигала 30–40% (рис. 3). Максимальные различия в освещенности, связанные с альбедо поверхности, наблюдаются в весенние месяцы, в зависимости от схода снежного покрова в марте–апреле. В этот период вслед за высотой солнца растет поступление солнечной радиации и наличие снежного покрова существенно увеличивает отраженную составляющую  $E$ .

На рис. 4 представлено межсуточная изменчивость освещенности ( $\Sigma E$ ): средние суточные значения за каждый день года (1968–2017), выбранные максимальные и минимальные значения  $\Sigma E$  и ежедневные значения за 2018 г., самый светлый за весь период наблюдений. Экстремальные величины  $\Sigma E$  дают представление о пределах изменения этой величины в реальных условиях. Максимальные значения  $\Sigma E$  отмечаются при переменной незначительной облачности и диске солнца, не закрытом облаками. Минимальные значения  $\Sigma E$  наблюдаются в дни со сплошной облачностью нижнего яруса и осадками в течение всего дня. Межсуточная изменчивость в течение 2018 г. и любого другого года значительна и зависит от условий облачности. Средние суточные значения освещенности за 9 месяцев в 2018 г. выше средних многолетних. В августе максимальное значение суточной суммы  $E$ , отмеченное 1 августа, стало абсолютным максимумом в этом месяце за весь пе-

риод наблюдений. В 2018 г. 208 дней  $\Sigma E$  была выше средних значений. Для 22 дней суточное значение оказалось больше максимальных значений за этот день для всего периода наблюдений; четыре дня в году  $\Sigma E$  были ниже соответствующих минимальных значений.

Еще большая зависимость от облачности наблюдается в освещенности стен различной ориентации. Их освещенность определяется соотношением прямой и рассеянной составляющих, которое зависит от астрономических факторов, от облачности и прозрачности атмосферы [16, 17]. Основным фактором становится азимут солнца. В ясные дни различия в освещении каждой из поверхностей велики, в условиях пасмурного неба освещенность всех четырех стен практически одинакова (рис. 5). При средних условиях облачности сохраняются особенности освещения стен различной экспозиции, отмеченные при ясном небе. В период, когда на стены разных экспозиций приходится максимум  $E$ , разница в освещенности в ясный и пасмурный дни достигает больших значений. Так, для стены южной ориентации в полдень  $E$  около 100 и 20 клк; для северной стены в утренние и вечерние сроки 20 и 5 клк; для восточной и западной в утренние и вечерние сроки 80 и 5 клк в ясный и пасмурный день соответственно.

### Выводы

Использование при строительном нормировании данных о естественной освещенности в условиях пасмурного неба ведет к недооценке световых ресурсов различных климатических регионов. Состояние пасмурного неба не типично ни для каких территорий России. Во внутригодовом распределении

облачности можно выделить периоды с преобладанием ясного или пасмурного неба, меняющегося в зависимости от циркуляционных процессов. Так, для Москвы можно принять за преобладающее состояние облачности пасмурное небо в осенне-зимний период, а на территории Дальнего Востока – летний. Оценить состояние неба возможно по непосредственным наблюдениям за облачностью и актинометрическим наблюдениям. В районах, где не ведутся актинометрические наблюдения, могут быть использованы данные о продолжительности солнечного сияния. Как показал анализ данных многолетних наблюдений МО МГУ, освещенность земной поверхности в условиях пасмурного неба и при средних условиях облачности может различаться до 50%, а освещенность стен раз-

личной ориентации – в несколько раз. При пасмурном небе освещенность существенно меняется в зависимости от форм облаков, их оптической плотности и от наличия снежного покрова в холодное время года. Для рационального использования природных световых ресурсов в различных географических регионах необходимо учитывать реальный режим облачности.

### Список литературы

1. Коркина Е.В. Критерий эффективности замены стеклопакетов в здании с целью энергосбережения // *Жилищное строительство*. 2018. № 6. С. 6–9.
2. Фьонг Н.Т.Х., Соловьев А.К. Оценка естественного освещения зданий с учетом солнцезащитных конструкций при реальных состояниях облачности // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15 (2). С. 180–200. doi: 10.22227/1997-0935.2020.2.180-200
3. Куприянов В.Н., Седова Ф.Р. Обоснование и развитие энергетического метода расчета инсоляции жилых помещений // *Жилищное строительство*. 2015. № 5. С. 83–87.
4. CEN European Standard – Daylight in Buildings, EN-17037, 2018
5. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце. М.: Стройиздат, 1988. 2015 с.
6. Phuong NT, Solovyov AK. Potential daylight resources between tropical and temperate cities—a case study of Ho Chi Minh city and Moscow // *Scientific journal Matec Web of Conferences*. 2018. Vol. 193, p. 04013. doi.org/10.1051/mateconf/201819304013
7. Darula S. Review of the current state and future development in standardizing natural lighting in interiors // *Light Eng*. 2018. Vol. 26. No. 4. 25 p.
8. Коркина Е.В., Горбаренко Е.В., Пастушков П.П., Тюленев М.Д. Исследование температуры нагрева поверхности фасада от солнечной радиации при различных условиях облучения // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-19-25>
9. Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловецова О.А. Климатические ресурсы солнечной радиации Московского региона. М.: ЛИБРОКОМ, 2012. 312 с.
10. Климат Москвы в условиях глобального потепления / Под ред. А.В. Кислова. М.: МГУ, 2017. 288 с.

### References

1. KorkinaYe.V. Criterion of efficiency of replacement of double-glazed windows in the building for the purpose of energy saving. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 6, pp. 6–9. (In Russian).
2. Fyong N.T.KH., Solov'yev A.K. Assessment of natural lighting of buildings taking into account sun protection structures under real cloud conditions. *Vestnik MGSU*. 2020. Vol. 15 (2), pp. 180–200. (In Russian). doi: 10.22227/1997-0935.2020.2.180-200
3. KupriyanovV.N., SedovaF.R. Justification and development of the energy method for calculating the insolation of residential premises. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 5, pp. 83–87. (In Russian).
4. CEN European Standard – Daylight in Buildings, EN-17037, 2018.
5. Obolenskiy N.V. Arkhitektura I solntse [Architecture and the Sun]. Moscow: Stroyizdat. 1988. 2015 p.
6. Phuong N.T., Solovyov A.K. Potential daylight resources between tropical and temperate cities—a case study of Ho Chi Minh city and Moscow. *Scientific journal Matec Web of Conferences*. 2018. Vol. 193. p. 04013. doi.org/10.1051/mateconf/201819304013
7. Darula S. Review of the current state and future development in standardizing natural lighting in interiors. *Light Eng*. 2018. Vol. 26. No. 4, 25 p.
8. Korkina E.V., Gorbarenko E.V., Pastushkov P.P., Tyulenev M.D. Investigation of the heating temperature of the facade surface from solar radiation under various irradiation conditions. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 7, pp. 19–25. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-19-25>
9. Abakumova G.M., Gorbarenko Ye.V., Nezval' Ye.I., Shilovtseva O.A. Klimaticheskiye resursy solnechnoy radiatsii Moskovskogo regiona [Climatic resources of solar radiation of the Moscow region]. Moscow: LIBROKOM, 2012. 312 p.
10. Klimat Moskvy v usloviyakh global'nogo potepleniya [The climate of Moscow in the conditions of global warming]. Pod red. Kislova A.V. Moscow: MGU, 2017. 288 p.
11. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR], Ser. 3. Part 1–6. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1989–1993.
12. Barteneva O.D., PolyakovaYe. A., Rusin N.P. Rezhimy estestvennoy osveshchennosti na territorii

11. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1–6. Л.: Гидрометеоиздат, 1989–1993.
12. Бартенева О.Д., Полякова Е.А., Русин Н.П. Режим естественной освещенности на территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 238 с.
13. Elena Korkina, Igor Shmarov and Matvey Tyulenev Effectiveness of energy-saving glazing in various climatic zones of Russia. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 869. 072010. doi: 10.1088/1757-899X/869/7/072010
14. Стадник В.В., Шанина И.Н. Оценка естественной освещенности земной поверхности по актинометрическим данным // *Труды ГГО*. 2016. Вып. 580. С. 110–124.
15. Шиловцева О.А. Световой режим Москвы в условиях дымной мглы // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 4. С. 5–17.
16. Горбаренко Е.В., Шиловцева О.А. Естественная освещенность горизонтальной и вертикальных поверхностей по данным наблюдений МО МГУ // *Строительство и реконструкция*. 2018. № 4 (78). С. 53–63.
17. Коркина Е.В., Горбаренко Е.В., Гагарин В.Г., Шмаров И.А. Основные соотношения для расчета облучения солнечной радиацией стен отдельно стоящих зданий // *Жилищное строительство*. 2017. № 6. С. 27–33.
- SSSR [The mode of natural illumination on the territory of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1971. 238 p.
13. Elena Korkina, Igor Shmarov and Matvey Tyulenev. Effectiveness of energy-saving glazing in various climatic zones of Russia. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 869. 072010. doi:10.1088/1757-899X/869/7/072010
14. Stadnik V.V., Shanina I.N. Evaluation of the natural illumination of the Earth's surface according to actinometric data. *Trudy GGO*. 2016. Vol. 580, pp. 110–124. (In Russian).
15. Shilovtseva O.A. The light regime of Moscow in the conditions of smoky haze. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2014. No. 4, pp. 5–17. (In Russian).
16. Gorbarenko Ye.V., Shilovtseva O.A. Natural illumination of horizontal and vertical surfaces according to observations of the Moscow State University MO. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. No. 4 (78), pp. 53–63. (In Russian).
17. Korkina Ye.V., Gorbarenko Ye.V., Gagarin V.G., Shmarov I.A. Basic relationships for calculation of solar radiation exposure of walls of separate buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 6, pp. 27–33. (In Russian).

## Требования к статьям, направляемым для публикации в журнал «Жилищное строительство»

### Уважаемые авторы!

Приступая к оформлению статьи для журнала «Жилищное строительство» внимательно ознакомьтесь с правилами и рекомендациями, размещенными на сайте:

[www.journal-hc.ru/index.php/ru/avtoram](http://www.journal-hc.ru/index.php/ru/avtoram)

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

– текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf;

– графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;

– иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться:

- рекомендательным письмом руководителя предприятия (института);
- лицензионным договором о передаче права на публикацию;
- распечаткой, лично подписанной ВСЕМИ 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 (заполненная информационная карта).

### Особое внимание библиографическим спискам!

### 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 2–5 лет в ведущих научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

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

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

Организатор конференции



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Официальная поддержка



АО ЦНИИТС



НИЦ строительство  
научно-исследовательский центр

**21-23**  
**СЕНТЯБРЯ**  
2021

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

**«РОССИЙСКИЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И СТРОИТЕЛЬСТВА  
МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ»**

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:  
МОСКВА, ХОЛИДЕЙ ИНН СУЩЁВСКИЙ  
УЛ. СУЩЕВСКИЙ ВАЛ, 74, 2 ЭТАЖ

Генеральный спонсор  
конференции



Спонсоры конференции



Генеральные информационные партнеры



[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com), [info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com)  
+7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СУХИХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

**24-26 августа**  
**2021**

**ВАЛТІМІХ**

**ЕКАТЕРИНБУРГ 2021**

**21** год  
**РАСЦВЕТАЕМ ВМЕСТЕ**

Организаторы



При поддержке



При участии



**baltimix.ru**