



ISSN 0044-4472

11'2021

ЖИЛИЩНОЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

www.rifsm.ru

www.journal-hc.ru

издается с 1958 г.



ВЕКА

Реклама

!!! Не забудьте подписаться !!! на журналы издательства **СТРОЙМАТЕРИАЛЫ**



www.journal-hc.ru

ISSN 0044-4472

Индекс **70283***

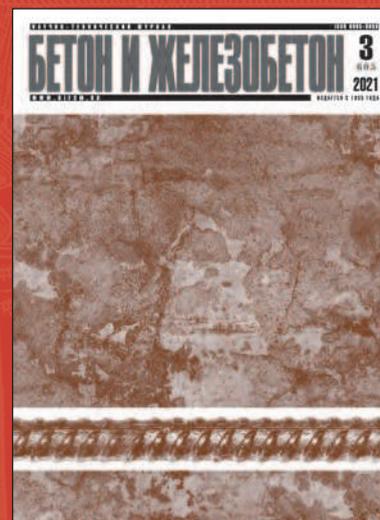


www.journal-cm.ru

ISSN 0585-430X (Print)

ISSN 2658-6991 (Online)

Индекс **70886***



www.rifsm.ru

ISSN 0005-9889

Индекс **85502***

На электронную версию можно подписаться

- на сайтах журналов

<https://journal-hc.ru/index.php/ru/podpiska-2022>

<https://journal-cm.ru/index.php/ru/podpiska-2022>

и издательства www.rifsm.ru в разделе «Подписка» можно оформить подписку на электронную полнотекстовую версию журнала в формате *.pdf. Это позволит вам получать журнал еще до выхода из типографии и быть независимым от почтового ведомства России.

- на сайтах наших партнеров:

elibrary.ru

delpress.ru

www.ivis.ru

www.rucont.ru

Оформить подписку в редакции можно с любого месяца на любой период

Для этого необходимо составить заявку в произвольной форме с указанием названия организации, юридического и почтового адреса и отправить ее на e-mail: mail@rifsm.ru или rifsm@mail.ru

Уважаемые читатели!

Завершается 2021 год! Он был очень трудным для издательства – много личных потерь, много срывов мероприятий и встреч. Но вне зависимости от развития дальнейшей эпидемической и социально-экономической ситуации, научная мысль не остановится, продолжится подготовка специалистов высшей квалификации, люди продолжают строить и созидать, а значит будут востребованы строительные материалы. Следовательно, и журналы издательства «Стройматериалы» будут необходимы для профессиональной деятельности. Очень рассчитываем на вашу поддержку и будем стараться дальше оправдывать ваше доверие!

Оставайтесь с нами!

* Индексы по объединенному каталогу «Пресса России» <https://www.pressa-ru.ru>

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.

11'2021

Обсуждаем нормативную базу отрасли

А.П. КОНСТАНТИНОВ, А.Ю. ОКУЛОВ

Нормирование технико-эксплуатационных характеристик оконных конструкций.

Современная ситуация и перспективы развития. 3

Тепловая защита зданий

В.Т. ИВАНЧЕНКО, В.В. КЛИМЕНКО, Е.В. БАСОВ

Теплозащитные свойства стеновой панели объемного блока серии БКР-2С

с гибкими связями 10

А.А. КРУТОВ, А.П. КОНСТАНТИНОВ

Требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций

исходя из обеспечения комфортных условий 14

А.А. ПЛОТНИКОВ

Учет температурных воздействий при проектировании несущих конструкций. 21

Защита зданий и сооружений от шума

Д.В. МОНИЧ

Метод расчета звукоизоляции легких перегородок

с бескаркасными антирезонансными панелями 27

С.Н. ОВСЯННИКОВ, Т.С. БОЛЬШАНИНА

Статистическая энергетическая модель прохождения внешнего шума

в помещения здания 34

Инсоляция и естественное освещение

В.Н. КУПРИЯНОВ

К расчету величины солнечного фактора солнцезащитных устройств. 40

А.К. СОЛОВЬЕВ, Е.А. ДОРОЖКИНА

Современное понимание роли естественного освещения

при проектировании зданий. 46

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)*

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

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

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

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

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

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

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

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

ORELSKAYA O.,
*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

11'2021

Discuss the normative base of industry

A.P. KONSTANTINOV, A.Y. OKULOV

Standardization of Technical and Operational Characteristics of Window Structures.

Current Situation and Development Prospects 3

Heat protection of buildings

V.T. IVANCHENKO, V.V. KLIMENKO, E.V. BASOV

Thermal Protection Properties of the Wall Panel of the BKR-2C Series

Three-Dimensional Block with Flexible Connections 10

A.A. KRUTOV, A.P. KONSTANTINOV

The Required Resistance to Heat Transfer of Translucent Enclosing Structures Based

on the Comfortable Conditions Provision 14

A.A. PLOTNIKOV

Consideration of Temperature Actions when Designing Bearing Structures 21

Protection of buildings and structures against noise

D.V. MONICH

Method for Calculating of Sound Insulation of Lightweight Partitions

with Frameless Anti-Resonant Panels 27

S.N. OVSYANNIKOV, T.S. BOLSHANINA

Statistical Energy Model of the Passage of External Noise into the Premises of the Building . . . 34

Insolation and natural lighting

V.I. KUPRIYANOV

To the Calculation of the Magnitude of the Solar Factor of Sun-Protective Devices 40

A.K. SOLOVIEV, E.A. DOROZHKINA

Modern Understanding of the Role of Natural Lighting in the Design of Buildings. 46

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 692.82

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-3-9>

А.П. КОНСТАНТИНОВ¹, канд. техн. наук (apkonst@yandex.ru);
А.Ю. ОКУЛОВ², инженер, руководитель технического отдела

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

² ООО «ВЕКА Рус» (143396, г. Москва, поселение Первомайское, д. Губцево, ул. Дорожная, 10)

Нормирование технико-эксплуатационных характеристик оконных конструкций. Современная ситуация и перспективы развития

В статье рассматривается вопрос соответствия положений действующих на территории РФ нормативных документов в области строительства (в части требований к окнам) современным потребительским требованиям к подобным конструкциям. На основе проведенного анализа установлено, что в настоящее время в действующих сводах правил представлены требования только к отдельным технико-эксплуатационным характеристикам окон. При этом они зачастую не соответствуют как текущему уровню развития оконной отрасли, так и современным потребительским требованиям, предъявляемым к подобным конструкциям. По ряду показателей требования к окнам не представлены в действующих нормативах. Выявленные обстоятельства являются причиной ряда типовых проблем, возникающих с окнами на стадии проектирования, монтажа и эксплуатации. Необходима разработка специализированного свода правил по проектированию окон, а в состав проектной документации на объекты капитального строительства необходимо включать материалы по комплексному описанию светопрозрачных конструкций, а также по обоснованию каждой технико-эксплуатационной характеристики. Для разработки подобного свода правил требуется предварительно выполнить научное обоснование ряда ключевых вопросов, связанных с работой окна в климатических условиях РФ как ограждающего элемента здания, которые не отражены в действующих сводах правил. Обосновывается необходимость актуализации нормативной базы на устройство оконных конструкций. Для этого рассматривается новая редакция ГОСТ 23166–2021 «Конструкции оконные и балконные светопрозрачные ограждающие. Общие технические условия» как необходимый подготовительный этап для разработки специализированного свода правил на проектирование оконных конструкций.

Ключевые слова: окна, нормативные требования, нагрузки и воздействия, энергоэффективность, комфорт.

Для цитирования: Константинов А.П., Окулов А.Ю. Нормирование технико-эксплуатационных характеристик оконных конструкций. Современная ситуация и перспективы развития // *Жилищное строительство*. 2021.

№ 11. С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-3-9>

A.P. KONSTANTINOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (apkonst@yandex.ru);

A.Y. OKULOV², Engineer, Head of Technical Department

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

² VEKA Rus LLC (10, Dorozhnaya Street, Gubtsevo village, Pervomayskoye settlement, Moscow, 143396, Russian Federation)

Standardization of Technical and Operational Characteristics of Window Structures. Current Situation and Development Prospects

The article deals with the issue of compliance of the provisions of the regulatory documents in the field of construction in force on the territory of the Russian Federation (in terms of requirements for windows) with modern consumer requirements for such structures. Based on the analysis conducted, it was found that at present, the current Russian regulatory documents contain requirements only for certain technical and operational characteristics of windows. At the same time, they often do not meet both the current level of development of the window industry and modern consumer requirements for such structures. According to a number of indicators, the requirements for windows are not presented at all in the current regulations. The revealed circumstances are the cause of a number of typical problems that arise with windows at the stage of their design, installation and operation. To solve them, it is necessary to develop a specialized set of rules for the design of windows, and the design documentation for capital construction projects must include materials for a comprehensive description of translucent structures, as well as for the justification of each technical and operational characteristics. To develop such a set of rules, it is required to first perform a scientific substantiation of a number of key issues related to the operation of the window in the climatic conditions of the Russian Federation as an enclosing element of the building, which are not reflected in the current regulations. The necessity of updating the regulatory framework for window structures is justified. For this purpose, a new edition of GOST 23166–2021 «Window and balcony translucent enclosing constructions. General specifications» as a necessary preparatory stage for the development of a specialized set of rules for window design.

Keywords: windows, regulatory requirements, loads and impacts, energy efficiency, comfort.

For citation: Konstantinov A.P., Okulov A.Y. Standardization of technical and operational characteristics of window structures. Current situation and development prospects. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 11, pp. 3–9. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-3-9>

В последние годы стало очень заметно изменение внешнего облика возводимых зданий за счет применения светопрозрачных конструкций, особенно в жилищном строительстве, где даже в объектах массовой застройки повсеместно применяют крупноформатные окна с низким подоконником и окна в пол (так называемые французские окна) (см. рисунок) [1].

Очевидно, что подобные конструкции уже требуют индивидуального рассмотрения для каждого конкретного объекта строительства с позиций обеспечения ими ограждающих свойств и безопасности эксплуатации. Это существенно отличает их от стандартных двух- и трехстворчатых окон небольших размеров с известными технико-эксплуатационными характеристиками, которые еще недавно в большинстве случаев использовались как в новом строительстве, так и при замене старых окон в существующем жилищном фонде [2]. Однако при этом возникает логичный вопрос: насколько нормативные требования к окнам, представленные в действующих нормативных документах в области строительства, соответствуют текущим тенденциям в архитектуре, уровню развития оконной отрасли и современным потребительским качествам, предъявляемым к подобным конструкциям? В рамках данной публикации авторы статьи постараются максимально широко рассмотреть этот вопрос, а также предложить пути совершенствования существующей нормативной базы в области оконных конструкций.

Анализ потребительских требований, предъявляемых к современным окнам

В рамках данной статьи окно рассматривается в наиболее широком понимании этого термина, т. е. как строительная ограждающая конструкция здания, которая предназначена для обеспечения визуального контакта находящихся в помещении людей с окружающей средой, обеспечения естественного освещения и вентиляции помещений, защиты помещений от внешних климатических воздействий. В то же время оно представляет собой многокомпонентную систему, которая в общем случае состоит из оконного блока, установленного в оконный проем наружной стены здания, крепежных деталей, монтажного шва, элементов отделки (подоконной доски, отлива, откосов).

Исходя из вышеизложенного можно говорить, что для формирования комплексных требований к окну необходимо не только учитывать его работу как строительной ограждающей конструкции здания, в которой оно выполняет ряд функций, но и детально рассматривать его отдельные элементы (прежде всего оконный блок как продукцию заводского изготовления, которая должна удовлетворять также ряду



Пример использования крупноформатных окон в зданиях массовой жилищной застройки
Example of the use of large-format windows in residential buildings

дополнительных технологических и потребительских требований).

В настоящее время к окнам предъявляются следующие требования:

- обеспечение естественного освещения, инсоляции, солнцезащиты помещений [3–7];
- обеспечение тепловой защиты (комфортного температурно-влажностного режима вблизи окон) и энергоэффективности зданий [8–11];
- герметичность при действии внешних атмосферных воздействий (воздухо- и водонепроницаемость, защита от уличной грязи, пыли) [12, 13];
- звукоизоляция (защита помещений от наружного воздушного шума, создаваемого потоком городского транспорта) [14, 15];
- возможность проветривания помещений [16, 17];
- сохранение целостности (прочности) и отсутствие чрезмерных деформаций окна в целом и его отдельных составных элементов при действии климатических нагрузок и воздействий (ветровой нагрузки, температурных воздействий, действия солнечной радиации), эксплуатационных нагрузок (опирание, падение на окна);
- эргономичность и безопасность использования (в том числе детьми);
- возможность периодического безопасного обслуживания и мытья окон;
- защита помещений от проникновения посредством взлома окна;
- надежность и долговечность;
- качество сборки и монтажа оконных блоков (внешний вид, зазоры и пр.).

Представленные выше требования по обеспечению комфортных условий в помещениях [18] должны быть выполнены при действии любого возможного

сочетания внешних климатических нагрузок и воздействий.

Очевидно, что каждое из рассмотренных требований к окну является вполне объективным и должно учитываться при проектировании и строительстве любого жилого или общественного здания.

Рассмотрим далее требования к окнам, представленные в действующих нормативных документах в области строительства, и проанализируем их соответствие представленным выше потребительским требованиям к подобным конструкциям.

Анализ существующих требований к окнам, представленных в действующих нормативных документах

В настоящее время на территории РФ базовым нормативным документом в строительстве является Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ. В данном документе представлены общие требования к зданию и его отдельным строительным конструкциям, направленные на обеспечение механической и пожарной безопасности зданий, их энергоэффективности, созданию комфортных условий пребывания в них людей и пр. Положения ФЗ-384 могут быть обеспечены за счет выполнения требований сводов правил, представленных в перечне национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований ФЗ-384 (на момент написания данной статьи этот перечень утвержден Постановлением Правительства РФ № 815 от 28.05.2021). Предполагается, что если выполнено обоснование требований отдельных пунктов сводов правил, представленных в указанном постановлении, то здание в целом и его отдельные строительные конструкции соответствует положениям ФЗ-384.

Если проанализировать рассматриваемые в постановлении положения сводов правил, то можно обнаружить, что в них пока еще не представлены не только комплексные требования к окнам как строительным ограждающим конструкциям здания, но и обоснованные значения исходных данных (нагрузок, воздействий и пр.), а также инженерные методы расчета каждой технико-эксплуатационной характеристики.

В действующих сводах правил в настоящее время представлены в явном виде требования только к некоторым технико-эксплуатационным характеристикам окна – сопротивлению теплопередаче (а также минимальной температуре на внутренней поверхности окон), воздухопроницаемости, звукоизоляции окон.

По остальным технико-эксплуатационным характеристикам они представлены в неявном виде (например, в СП 54.13330 «Здания жилые многоквартирные» регламентируется минимальная площадь оконных проемов из условия обеспечения естественного освещения) либо вообще отсутствуют (например, требования к водопроницаемости).

Причем даже представленные в сводах правил требования к окнам, по сути, не соответствуют современному уровню развития оконной отрасли, а также текущим потребительским качествам. Рассмотрим некоторые из них более подробно.

В 2017 г. Изменение № 1 к СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» несколько увеличило требования к базовому значению сопротивления теплопередаче окон. Это, безусловно, является положительным нововведением, однако даже при соблюдении увеличенных требований к сопротивлению теплопередаче окон невозможно обеспечить не только комфортные, но и санитарно-гигиенические условия вблизи рассматриваемых конструкций (недопустимость образования конденсата на внутренних поверхностях стеклопакетов, профильных элементов, откосах). Здесь под комфортными условиями понимается возможность длительного нахождения человека вблизи окна в зимний период эксплуатации (например, сидя спиной к окну), при котором человек не будет ощущать эффект «холодной радиации» от внутренних поверхностей окна, имеющих значительно более низкие температуры по сравнению с температурой поверхности тела человека. Для выполнения этих условий необходимо обеспечить на внутренней поверхности окон температуру не ниже некоторого значения, определяемого исходя из расчета допустимой интенсивности теплообмена человека и окна [19]. Из этого условия ранее, до введения в действие СП 50.13330, назначалось требуемое сопротивление теплопередаче непрозрачных ограждающих конструкций зданий. В современных условиях, когда даже в жилых зданиях значительно увеличена доля применения светопрозрачных конструкций, подобные требования являются вполне обоснованными с точки зрения здравого смысла. Однако в настоящее время они не представлены ни в соответствующих сводах правил, ни в самом ФЗ-384, а многие из все же представленных требований либо научно не обоснованы (см. рассмотренные в статье примеры), либо недостаточно конкретно и точно сформулированы. Более того, окно выведено из обслуживаемой (обитаемой) зоны помещения, где обязательно должны быть обеспечены заданные проектом температурно-влажностные условия. Этот факт не позволяет в настоящее время корректно назначать расчетную

температуру внутреннего воздуха вблизи окна, что особенно важно при проектировании оконных конструкций в пол.

Если же детально рассмотреть вопрос нормирования воздухопроницаемости окон, то здесь тоже можно отметить значительное отставание нормативных требований от текущего уровня развития оконной отрасли и потребительских требований. Также в целом отмечается некорректный подход к нормированию и расчету данного параметра, что отмечено рядом специалистов [20, 21]. Установлено, что нормативное значение сопротивления воздухопроницаемости окон, представленное в СП 50.13330, до десяти раз ниже фактического сопротивления воздухопроницаемости современных оконных конструкций [13]. Причем действующая методика определения этого показателя такова, что при расчете энергобаланса здания и подборе системы отопления используется не фактическое, а нормативное значение сопротивления воздухопроницаемости окон. Возможно, поэтому в новых зданиях зимой часто ощущается существенный «перетоп», а в зданиях существующего жилищного фонда при замене старых окон на современные становится очень душно.

В действующих сводах правил в настоящее время наблюдается отсутствие научно обоснованных исходных данных, необходимых для расчета каждой технико-эксплуатационной характеристики окон, которые учитывали бы специфику работы подобных конструкций. Это касается прежде всего ветровых нагрузок и расчетной температуры наружного воздуха, на которые необходимо рассчитывать подобные конструкции.

Очевидно, что описанные выше вопросы требуют более детального рассмотрения и научного обоснования. Однако необходимо и изменение подхода к проектированию окон, а именно переход к использованию специализированного свода правил по расчету и проектированию оконных конструкций, разработка которого, очевидно, давно назрела.

Отметим, что нормативный базис в части технологических требований к окнам уже не только сформирован, но и актуализирован в соответствии с современным состоянием оконной отрасли. Это стало возможным в том числе за счет введения в действие новой редакции ГОСТ 23166–2021 «Конструкции оконные и балконные ограждающие светопрозрачные. Общие технические условия». В рамках данной статьи авторы не ставят перед собой цели описать все нововведения этого документа. Однако следует отметить несколько ключевых моментов:

– стандарт во многом ориентирован на конечных потребителей продукции. Представлены требования ко всем значимым технико-эксплуатационным харак-

теристикам оконных блоков, а также методы их подтверждения;

– ГОСТ 23166 стал другим по идеологии. Сейчас это не просто стандарт на окна как на продукцию заводского изготовления, а промежуточный вариант между ГОСТом и сводом правил. В текущих условиях, когда пока еще отсутствует специализированный свод правил на окна, это является компромиссным и наиболее оправданным вариантом изложения документа.

Обсуждение и выводы

Очевидно, что свод правил на проектирование окон должен содержать исчерпывающую информацию, необходимую для подтверждения требований ФЭ-384, в том числе:

– критерии проектирования (требования к каждой технико-эксплуатационной характеристике, требования к обеспечению безопасной эксплуатации);

– научно обоснованные значения нагрузок и воздействий на окна, отвечающие фактическим условиям эксплуатации на территории РФ;

– инженерные методы расчета либо лабораторные методы определения фактического значения каждой технико-эксплуатационной характеристики окон.

Каждый из этих вопросов требует детального обоснования.

Критерии проектирования окон должны назначаться на основе разумного компромисса, отвечающего интересам всех сторон:

– конечного потребителя (обеспечение современного уровня комфорта и безопасности в здании, повышенные требования к качеству продукции);

– производителей окон и комплектующих (технологическая возможность массового изготовления продукции с требуемыми характеристиками);

– проектировщиков и контролирующих органов (обеспечение всех требований ФЭ-384, возможность выполнения рядовыми специалистами обоснования и расчета каждой технико-эксплуатационной характеристики окна);

– застройщиков (недопущение чрезмерного увеличения стоимости строительства за счет необходимости применения окон с повышенными характеристиками).

Для обоснованного назначения нагрузок и воздействий, их расчетных сочетаний необходимо учесть специфику работы оконных конструкций при действии той или иной нагрузки. Это касается ветровых, температурных, эксплуатационных нагрузок на окна. Некоторые из указанных нагрузок представлены в настоящее время в СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия». Однако здесь нужно понимать, что рассматриваемый свод правил разрабатывался изначально

только для расчета несущих конструкций зданий, а отдельные требования к назначению нагрузок и воздействий на ограждающие конструкции введены в этот документ без должного научного обоснования.

Инженерные методы расчета требуемых и фактических значений технико-эксплуатационных характеристик окон должны учитывать фактические условия эксплуатации окон в климатических условиях РФ, а также их конструктивные особенности. Это требует в том числе и разработки и введения в практику новых методов испытания окон, например на совместное действие ветровых и температурных нагрузок.

Без выполнения всех указанных выше мероприятий качественно улучшить ситуацию в области нормирования оконных конструкций не представляется возможным. Очевидно также, что без этого невозможно и решить текущие типовые проблемы, возникающие при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов:

– отсутствие в большинстве случаев детального описания и проработки технических решений оконных конструкций на стадии архитектурно-строительного проектирования объектов;

– «потребительский терроризм» по отношению к производителям окон и застройщикам;

– нарушение комфортных условий пребывания людей в помещении (например, продувание и промерзание окон в результате их температурных деформаций) [22, 23].

Очевидно, что разработка и внедрение в проектную практику специализированного свода правил является в настоящее время ключевой задачей производителей окон.

Авторы призывают всех заинтересованных лиц принять активное участие в совершенствовании современной нормативной базы, касающейся оконных конструкций, путем участия в общественных обсуждениях вновь разрабатываемых документов, и в информировании о выявленных на практике проблемах при пользовании существующими редакциями нормативных документов.

Авторы готовы к критическим оценкам и будут благодарны заинтересованным специалистам за обсуждение представленного материала.

Список литературы

1. Melnikova I., Boriskina I. Modern translucent structures in multistory residential buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 022021. DOI 10.1088/1757-899X/365/2/022021.
2. Борискина И.В., Шведов Н.В., Плотников А.А. Современные светопрозрачные конструкции гражданских зданий. Справочник проектировщика. Т. II. Оконные системы из ПВХ. СПб.: НИУПЦ «Межрегиональный институт окна», 2005. 320 с.
3. Бахарев Д.В., Зимнович И.А. О светопропускании окон // *Светотехника*. 2007. № 5. С. 4–8.
4. 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.
5. Стецкий С.В., Ларионова К.О. К вопросу о продолжительности инсоляции жилых помещений, снабженных балконами или лоджиями // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 5. С. 231–233.
6. Stetsky S.V., Larionova K.O. Assessment of the insolation duration for the facades of buildings and adjacent territories under certain parameters of their development // *Light and Engineering*. 2021. Vol. 29. № 5 (1). С. 28–34. DOI: 10.33383/2021-069
7. Верховский А.А., Константинов А.П., Смирнов В.А. Стандартизация и требования нормативной документации к светопрозрачным фасадным

References

1. Melnikova I., Boriskina I. Modern translucent structures in multistory residential buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 022021. DOI 10.1088/1757-899X/365/2/022021
2. Boriskina I.V., Shvedov N.V., Plotnikov A.A. *Sovremennye svetoprozrachnye konstrukcii grazhdanskih zdaniy. Spravochnik proektirovshchika. Tom II. Okonnye sistemy iz PVH [Modern translucent structures of civil buildings. Handbook of the designer. Vol. II. PVC Window systems]*. Saint-Petersburg: NIUPC «Mezhregional'nyj institut okna». 2012. 320 p.
3. Baharev D.V., Zimnovich I.A. About light transmission of windows. *Svetotekhnika*. 2007. No. 5, pp. 4–8. (In Russian).
4. Zemtsov V.A., Gagarina E.V. Calculation-experimental method determination of the general coefficient light transmission window blocks. *ACADEMIA. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2010. No. 3, pp. 472–476. (In Russian).
5. Stetsky S.V., Larionova K.O. To a problem of insulations lasting for residential premises, furnished with balconies and loggias. *Innovatsii i investitsii*. 2021. No. 2, pp. 231–233. (In Russian).
6. Stetsky S.V., Larionova K.O. Assessment of the insolation duration for the facades of buildings and adjacent territories under certain parameters of their development. *Light and Engineering*. 2021. Vol. 29. No. 5 (1), pp. 28–34. DOI: 10.33383/2021-069

- конструкциям на территории Российской Федерации // *Жилищное строительство*. 2020. № 6. С. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-35-40>
8. Стратий П.В., Становов И.А. Влияние коэффициента остекленности фасада на энергоэффективность // *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2017. № 4 (47). С. 105–114.
 9. Верховский А.А., Зимин А.Н., Потапов С.С. Применимость современных светопрозрачных ограждающих конструкций для климатических регионов России // *Жилищное строительство*. 2015. № 6. С. 16–19.
 10. Савин В.К., Савина Н.В. Архитектура и энергоэффективность окна // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 4 (60). С. 124–130.
 11. Коркина Е.В. Критерий эффективности замены стеклопакетов в здании с целью энергосбережения // *Жилищное строительство*. 2018. № 6. С. 6–9.
 12. Дацюк Т.А., Гримитлин А.М. Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций на энергопотребление жилых зданий // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 6 (65). С. 182–187.
 13. Константинов А.П., Верховский А.А. Воздухопроницаемость современных оконных блоков из ПВХ и алюминия // *Жилищное строительство*. 2019. № 4. С. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-4-39-45>
 14. Леденев В.И., Матвеева И.В., Федорова 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 (41). С. 20–26.
 15. Крышов С.И. Проблемы звукоизоляции строящихся зданий // *Жилищное строительство*. 2017. № 6. С. 8–10.
 16. Сайфутдинова А.М., Куприянов В.Н. Качественные характеристики воздухообмена жилых помещений и их зависимость от объемно-планировочных и конструктивных решений зданий // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2014. № 1 (27). С. 113–118.
 17. Дацюк Т.А. Качество воздуха в зданиях с естественной вентиляцией // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. 2016. № 1 (169). С. 78–81.
 18. Константинов А.П., Крутов А.А., Тихомиров А.М. Оценка теплотехнических характеристик оконных блоков из ПВХ профилей в зимний период эксплуатации // *Строительные материалы*. 2019. № 8. С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>
 7. Verkhovsky A.A., Konstantinov A.P., Smirnov V.A. Standardization and requirements of normative documentation for curtain walls in the Russian Federation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 6, pp. 35–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-35-40>
 8. Stratiy P.V., Stanovov I.A. The influence of the glazing ratio of a façade on the energy efficiency. *Vestnik tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017. No. 4 (47), pp. 105–114. (In Russian).
 9. Verkhovsky A.A., Zimin A.N., Potapov S.S. The applicability of modern translucent walling for the climatic regions of Russia. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 6, pp. 16–19. (In Russian).
 10. Savin V.K., Savina N.V. Architecture and energy efficiency of a window. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2015. No. 4 (60), pp. 124–130. (In Russian).
 11. Korkina E.V. Criterion of efficiency of glass units replacing in the building with the purpose of energy saving. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 6, pp. 6–9. (In Russian).
 12. Datsyuk T.A., Gritmitlin A.M. The effect of the enclosing structure air permeability value on the energy consumption of residential building. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No. 6 (65), pp. 182–187. (In Russian).
 13. Konstantinov A.P., Verkhovsky A.A. Air permeability of modern pvc and aluminum window blocks. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 4, pp. 39–45. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-4-39-45>
 14. Ledenev V.I., Matveeva I.V., Fedorova O.O. On complex studies of window fillings as elements of the building envelope according to the conditions for ensuring their lighting, insolation, thermal, noise regimes and electromagnetic safety in civil buildings. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2017. No. 1 (41), pp. 20–26. (In Russian).
 15. Kryshov S.I. Sound insulation problems of buildings under construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 6, pp. 8–10. (In Russian).
 16. Sayfutdinova A.M., Kupriyanov V.N. Qualitative characteristics of air exchange of premises and their dependence on space-planning and constructive solutions of buildings. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2014. No. 1 (27), pp. 113–118. (In Russian).
 17. Datsyuk T.A. Air quality in buildings with natural ventilation. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie*. 2016. No. 1 (169), pp. 78–81. (In Russian).
 18. Konstantinov A.P., Krutov A.A., Tikhomirov A.M. Assessment of the PVC windows thermal characteristics in winter. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 8, pp. 65–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>

19. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). СПб.: АВОК Северо-Запад, 2006. 400 с.
20. Лобанов В.А. Проблемы нормирования воздухопроницаемости светопрозрачных ограждающих конструкций зданий. *Энергосбережение и экология в строительстве и ЖКХ, транспортная и промышленная экология: Международная конференция*. М., 2010. С. 101–108.
21. Савин В.К. Строительная физика: аэродинамика и теплообмен при взаимодействии потоков и струй со зданиями. М.: Лазурь, 2008. 480 с.
22. Konstantinov A., Verkhovsky A. Assessment of the negative temperatures influence on the PVC windows air permeability. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 753. 022092. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022092
23. Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E. Thermal deformation of window for climatic conditions of Russia. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. 032048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032048
19. Bogoslovskij V.N. Stroitel'naja teplofizika (teplofizicheskie osnovy otoplenija, ventiljacii i kondicionirovanija vozduha) [Construction thermophysics (thermophysical fundamentals of heating, ventilation and air conditioning)]. Saint-Petersburg: AVOK Severo-Zapad. 2006. 400 p. (In Russian).
20. Lobanov V.A. Problems of normalizing the air permeability of translucent building structures. *Energy saving and ecology in construction and utilities sector, transport and industrial ecology: International conference*. Moscow. 2010, pp. 101–108. (In Russian).
21. Savin V.K. Stroitel'naya fizika: energoperenos, energoeffektivnost', energosberezhenie [Construction physics: energy transfer, energy efficiency, energy saving]. Moscow: Lazur'. 2008. 480 p. (In Russian).
22. Konstantinov A., Verkhovsky A. Assessment of the negative temperatures influence on the PVC windows air permeability. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 753. 022092. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022092
23. Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E. Thermal deformation of window for climatic conditions of Russia. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. 032048. DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032048

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести специальную литературу

Монография «Защита деревянных конструкций»

Автор – Ломакин А.Д.

Рассмотрены вопросы конструкционной и химической защиты деревянных конструкций, используемых в малоэтажном домостроении, при строительстве зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения, в том числе, с химически агрессивной средой, а также открытых сооружений (автодорожных и пешеходных мостов, опор ЛЭП и др.). Освещены вопросы защиты от эксплуатационных воздействий и возгорания несущих конструкций из клееной древесины и ЛВЛ и приведено краткое описание наиболее эффективных средств и способов их защиты. Описаны методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натурных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Приведены методика и результаты мониторинга влажностного состояния несущих клееных деревянных конструкций в процессе эксплуатации.



Монография «Производство деревянных клееных конструкций»

Автор – заслуженный деятель науки России, д-р техн. наук Ковальчук Л.М.

В книге рассмотрены основные вопросы технологии изготовления ДКК, показаны области их применения, описаны материалы для их изготовления. Особое внимание уделено вопросам оценки качества, методам испытаний, приемке и сертификации клееных конструкций. В книге приведен полный перечень отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих производство и применение ДКК.

**Заявки направляйте в редакцию по e-mail: mail@rifsm.ru,
по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36
Оформляйте заказ на сайте www.rifsm.ru**

УДК 699.86

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-10-13>

В.Т. ИВАНЧЕНКО, канд. техн. наук (vladimir.ivanchenko.1945@mail.ru),
В.В. КЛИМЕНКО, канд. техн. наук (4552439@mail.ru), Е.В. БАСОВ (4263375@mail.ru)

Кубанский государственный технологический университет (350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2)

Теплозащитные свойства стеновой панели объемного блока серии БКР-2С с гибкими связями

Произведены натурные испытания наружных стеновых панелей объемного блока серии БКР-2С с гибкими связями для определения теплозащитных характеристик. Подготовлены выводы о необходимости повышения класса энергетической эффективности зданий из несущих объемных блоков как на стадии проектирования, так и на стадии строительства. Показано, что первоочередной задачей является увеличение коэффициента теплотехнической однородности до 0,8–0,9. Достичь высокой степени однородности конструкции можно заменой сплошных керамзитобетонных шпонок и ребер жесткости на гибкие связи из композитной или стальной арматуры. Приведена теоретическая модель двухмерного и трехмерного теплового поля наружной стеновой панели с дискретными и гибкими связями. Заданы параметры конструкции, микросреды. Введены проектные теплопроводные включения для расчета высокой точности в программном комплексе. Авторами получены данные об эффективности перехода на связи из арматуры. Переход на гибкие связи позволит снизить количество тепловых мостов и теплопроводных включений, а также повысит класс энергосбережения до «В-высокий» и класс энергетической эффективности до «С-повышенный».

Ключевые слова: теплозащитные свойства, наружная стеновая панель, объемный блок, коэффициент теплотехнической однородности, гибкая связь, дискретные и гибкие связи.

Для цитирования: Иванченко В.Т., Клименко В.В., Басов Е.В. Теплозащитные свойства стеновой панели объемного блока серии БКР-2С с гибкими связями // *Жилищное строительство*. 2021. № 11. С. 10–13.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-10-13>

V.T. IVANCHENKO, Candidate of Sciences (Engineering) (vladimir.ivanchenko.1945@mail.ru),
V.V. KLIMENKO, Candidate of Sciences (Engineering) (4552439@mail.ru), E.V. BASOV (4263375@mail.ru)
Kuban State Technological University (2, Moskovskaya Street, Krasnodar, 350072, Russian Federation)

Thermal Protection Properties of the Wall Panel of the BKR-2C Series Three-Dimensional Block with Flexible Connections

The authors carried out full-scale tests of the external wall panels of the BKR-2C series three-dimensional block with flexible connections to determine the thermal protection characteristics. Conclusions have been drawn about the need to increase the energy efficiency class of buildings made of load-bearing three-dimensional blocks both at the design stage and at the construction stage. It is shown that the primary task is to increase the coefficient of thermal-technical uniformity to 0.8-0.9. To achieve a high degree of uniformity of the structure, it is possible to replace solid expanded clay concrete dowels and stiffeners with flexible connections made of composite or steel reinforcement. A theoretical model of two-dimensional and three-dimensional thermal field of an external wall panel with discrete and flexible connections is presented. Design and microenvironment parameters are set. Design heat-conducting inclusions have been introduced to calculate high accuracy in the software package. The authors obtained data on the efficiency of switching to reinforcement connections. The transition to flexible connections will make it possible to reduce the number of thermal bridges and heat-conducting inclusions, as well as increase the energy saving class to B-high and the energy efficiency class to C-increased.

Keywords: thermal protection properties, external wall panel, three-dimensional block, coefficient of thermal-technical uniformity, flexible connection, discrete and flexible connections.

For citation: Ivanchenko V.T., Klimenko V.V., Basov E.V. Thermal protection properties of the wall panel of the BKR-2C series three-dimensional block with flexible connections. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 11, pp. 10–13. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-10-13>

В Краснодарском крае широкое распространение получило строительство многоквартирных жилых домов из объемных блоков. Технология объемно-блочного домостроения (ОБД) позволяет обеспечить граждан социальным жильем. Высокая скорость возведения зданий и заводское исполнение выводят этот тип строительства в строчку лидирующих на юге страны. В настоящее время мощность ЗАО «ОБД» способна поставить до 200 тыс. м² жи-

лья в год. Одной из ключевых целей работы послужила оценка и модернизация энергоэффективности зданий ОБД.

Для анализа тепловой защиты было обследовано более десяти жилых зданий – двухсекционных и пятисекционных. В проекте зданий применены железобетонные трехслойные панели толщиной 250 мм. Стеновые керамзитобетонные панели выполнены с утеплителем из пенополистирола и железобетонными



Рис. 1. Расстановка датчиков теплового потока в реперных зонах стеновой панели

Fig. 1. Placement of heat flow sensors in reference zones of the wall panel

шпонками. Конструкция с приведенным сопротивлением теплопередаче $R = 1,61 \text{ м}^2 \cdot \text{С}/\text{Вт}$. Окна и балконные двери имеют показатель $R_F = 0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{С}/\text{Вт}$. Расчетное значение удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий $q^p = 0,263 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{С})$ согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003». Класс энергосбережения здания назначен «С+ нормальный» (Приказ Минстроя РФ от 6 июня 2016 № 399/пр «Об утверждении правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов»; Приказ Минстроя РФ от 17.11.2017 № 1550/пр «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений»).

Для анализа энергоэффективности возведенного здания работа проводилась в отопительный период. Главная задача – анализ теплового поля стеновой конструкции. Было определено значение сопротивления теплопередаче в натуральных условиях, произведено тепловизионное обследование панелей (рис. 1–4).

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче производится по формуле:

$$R_0^r = \frac{A}{(\sum A_i / R_{0i})}$$

где A – площадь испытуемой ограждающей конструкции, м^2 ; A_i – площадь характерной изотермической зоны, определяемой планиметрированием, м^2 ; R_{0i} – сопротивление теплопередаче характерной зоны, $\text{м}^2 \cdot \text{С}/\text{Вт}$.

Фактическое значение показателя $R_{np} = 1,56 \text{ м}^2 \cdot \text{С}/\text{Вт}$. Пересчитав тепловой баланс здания, получаем значение удельного расхода тепловой энергии $37,23 \text{ кВтч}/\text{м}^2$. В соответствии с Приказом Минстроя РФ от 6 июня 2016 № 399/пр обследуемые здания соответствуют классу энергоэффективности «D-нормальный».

Съемка инфракрасной камерой показала скачкообразность температуры по линии профиля Р1. Раз-

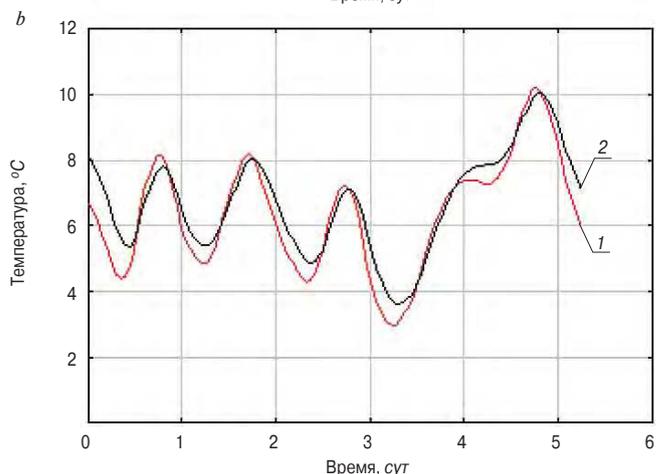
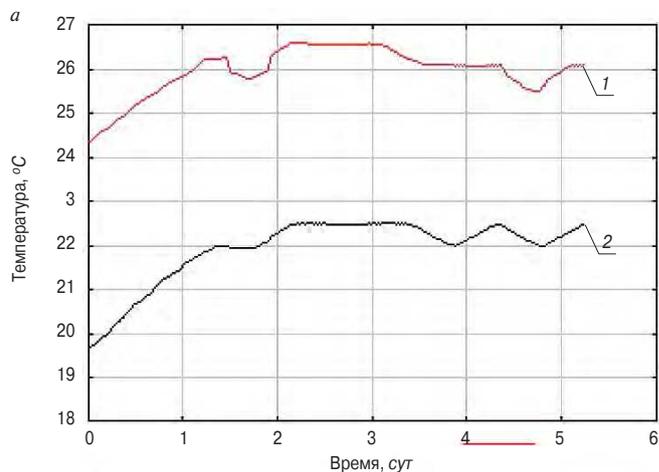


Рис. 2. Температурные серии внутри и снаружи помещения: а – в помещении; б – снаружи: 1 – воздух; 2 – стена

Fig. 2. Temperature series inside and outside the room: a – indoors; b – outside: 1 – air; 2 – wall

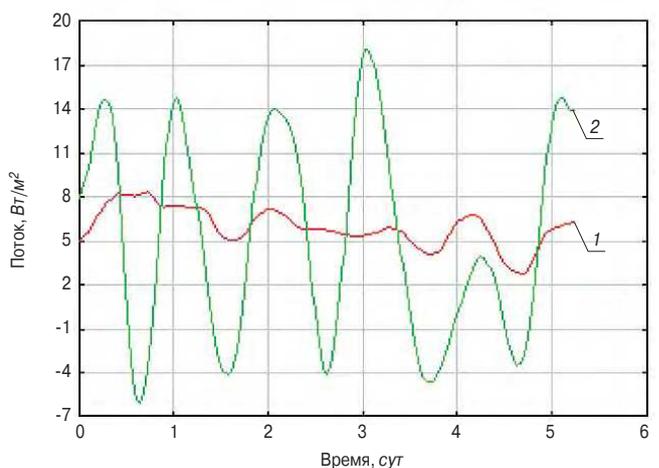


Рис. 3. Тепловые потоки на поверхности ограждающей конструкции за период испытаний: 1 – внутренний поток; 2 – внешний поток

Fig. 3. Heat flows on the surface of the enclosing structure during the test period: 1 – internal flow; 2 – external flow

личие цветовой палитры на рис. 5 говорит о неравномерности теплового поля. Причиной подобного явления стала конструктивная особенность стеновой

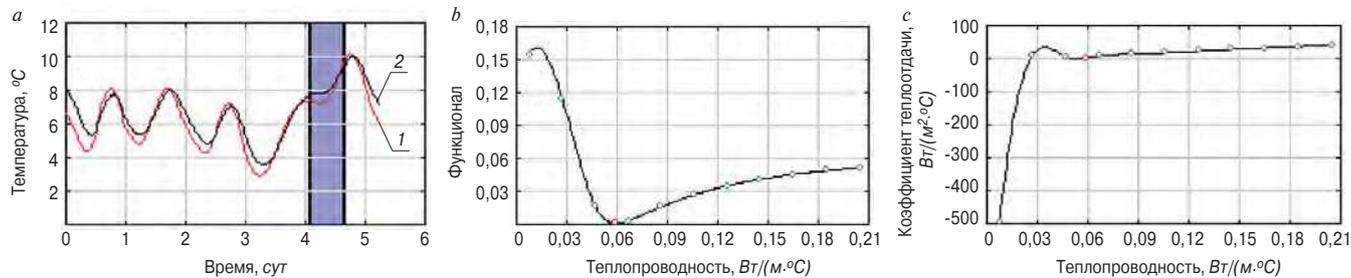


Рис. 4. Выборка параметров для оценки сопротивления теплопередаче наружной стеновой панели: а – снаружи; б – функционал правдоподобия; с – коэффициент теплоотдачи: 1 – воздух; 2 – стена

Fig. 4. Selection of parameters for assessing the heat transfer resistance of an external wall panel: а – outside; б – likelihood functional; с – heat transfer coefficient: 1 – air; 2 – wall



Линия профиля:



Рис. 5. Тепловизионный снимок наружной стеновой панели
Fig. 5. Thermal vision image of the outer wall panel

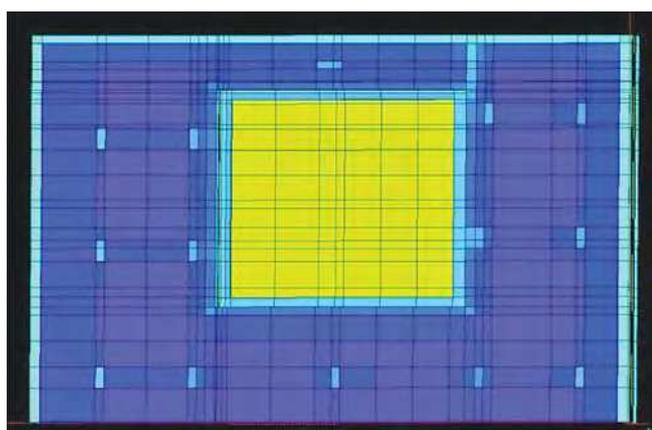


Рис. 6. Математическая модель наружной стеновой панели с дискретными связями

Fig. 6. Mathematical model of an external wall panel with discrete connections

панели. Связь между внутренним и наружным слоями выполнена из железобетона. Керамзитобетонные шпонки размером 100×150 мм являются местами потерь тепла.

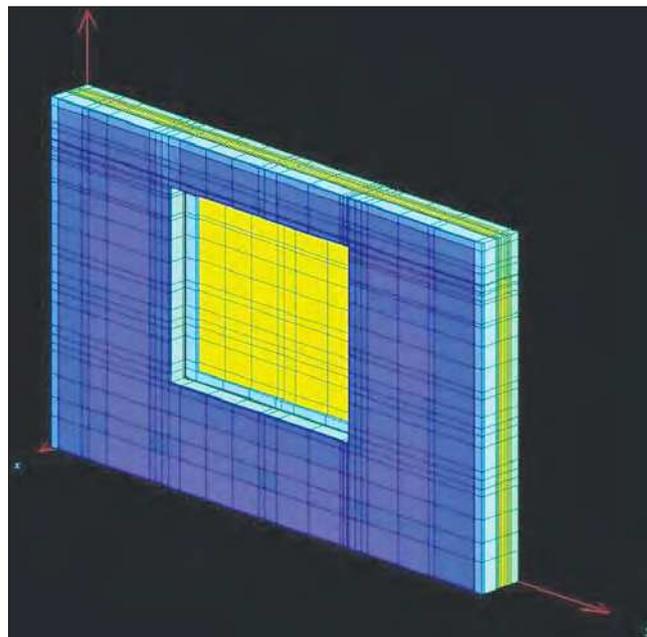


Рис. 7. Математическая модель наружной стеновой панели с гибкими связями из композитной арматуры

Fig. 7. Mathematical model of an external wall panel with flexible connections made of composite reinforcement

Подробное изучение конструкции наружной стеновой панели направлено на компьютерное моделирование трехмерного теплового поля объекта исследования (рис. 6).

Моделирование показало приведенное сопротивление теплопередаче панели с жесткими связями составляет $R = 1,58 \text{ м}^2 \cdot \text{С}/\text{Вт}$. Авторами принято решение о повышении коэффициента теплотехнической однородности изделия при помощи перехода на гибкие связи из отдельных стержней композитной арматуры (рис. 7). Изделия из стальной арматуры не стали применять из-за высокой теплопроводности металла [1–4].

Из-за увеличения однородности панели приведенное сопротивление теплопередаче $R = 1,972 \text{ м}^2 \cdot \text{С}/\text{Вт}$. Здание из модифицированных объемных блоков будет иметь класс энергетической эффективности «С-повышенный» [4–12]. В денежном эквиваленте для отопления дома из 224 квартир экономия составит 19 624,64 р. за один месяц.

Список литературы

1. Корниенко С.В. Повышение теплозащиты стеновых конструкций зданий из объединенных блоков // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 8. С. 17–30.
2. Тешев И.Д., Коростелева Г.К., Попова М.А. Объемно-блочное домостроение // *Жилищное строительство*. 2016. № 3. С. 26–33.
3. Тешев И.Д., Щедрин Ю.Г. Модернизация заводов объемно-блочного домостроения // *Строительные материалы*. 2016. № 3. С. 10–13.
4. Ализате С.А. Объемно-блочное домостроение: опыт и перспективы развития // *Архитектура и дизайн*. 2017. № 1. С. 38–52.
5. Николаев В.Н., Степанова В.Ф., Демина Т.Г. Композитные диагональные гибкие связи для трехслойных бетонных панелей – панельное домостроение нового уровня // *Жилищное строительство*. 2018. № 10. С. 33–37.
6. Трищенко И.В., Каклюгин А.В., Касторных Л.И. Об оценке эффективности инвестиций на стадии внедрения результатов научно-исследовательских работ // *Инженерный вестник Дона*. 2019. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5745 (Дата обращения: 02.03.2020).
7. Грановский А.В. Сейсмостойкость трехслойных стеновых панелей на гибких стеклопластиковых связях // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 3. С. 36–40.
8. Хорохордин А.М., Усачев А.М., Коротких Д.Н. Сравнительная оценка механических свойств полимерной композитной арматуры // *Строительные материалы*. 2018. № 7. С. 71–75. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-71-75.
9. Касторных Л.И., Деточенко И.А., Аринина Е.С. Особенности технологии железобетонных изделий из специальных бетонов. *Материалы научно-практической конференции «Строительство и архитектура-2017»*. Ростов н/Д, 2017. С. 64–69.
10. Грановский А.В. Сейсмостойкость трехслойных стеновых панелей на гибких стеклопластиковых связях // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 3. С. 36–40.
11. Касторных Л.И., Черепанов В.Д. Варианты армирования трехслойных стеновых панелей композитной арматурой // *Молодой исследователь Дона*. 2018. № 3 (24). С. 33–41.
12. Степанова В.Ф., Фаликман В.Р., Бучкин А.В. Задачи и перспективы применения композитов в строительстве. *Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве: Сб. материалов III научно-технич. конференции*. Ижевск, 2017. С. 55–72.

References

1. Kornienko S.V. Improving the thermal protection of wall structures of buildings from combined blocks. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*. 2016. No. 8, pp. 17–30. (In Russian).
2. Teshev I.D., Korosteleva G.K., Popova M.A. Volumetric-block housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 3, pp. 26–33. (In Russian).
3. Teshev I.D., Shchedrin Yu.G. Modernization of bulk-block housing construction plants. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 3, pp. 10–13. (In Russian).
4. Alizade S.A. Volumetric-block housing construction: experience and prospects of development. *Arkhitektura i dizain*. 2017. No. 1, pp. 38–52. (In Russian).
5. Nikolaev V.N., Stepanova V.F., Demina T.G. Composite diagonal flexible connections for three-layer concrete panels – panel housing construction of a new level. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 10, pp. 33–37. (In Russian).
6. Trishchenko I.V., Kaklyugin A.V., Kastornykh L.I. On evaluation of investment efficiency at the stage of implementation of research results. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019. No. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5745 (Accessed: 02.03.2020)
7. Granovsky A.V. Seismic resistance of three-layer wall panels on flexible fiberglass ties. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2018. No. 3, pp. 36–40. (In Russian).
8. Khorokhordin A.M., Usachev A.M., Korotkov D.N. Comparative evaluation of mechanical properties of polymer composite reinforcement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 7, pp. 71–75. (In Russian). DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-71-75.
9. Kastornykh L.I., Detochenko I.A., Arinina E.S. Features of the technology of reinforced concrete products made of special concrete. *Materials of the scientific and practical conference "Construction and Architecture-2017"*. Rostov-on-Don. 2017, pp. 64–69. (In Russian).
10. Granovsky A.V. Seismic resistance of three-layer wall panels on flexible fiberglass ties. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2018. No. 3, pp. 36–40. (In Russian).
11. Kastornykh L.I., Cherepanov V.D. Options for reinforcing three-layer wall panels with composite reinforcement. *Molodoi issledovatel' Dona*. 2018. No. 3 (24), pp. 33–41. (In Russian).
12. Stepanova V.F., Falikman V.R., Buchkin A.V. Problems and prospects of using composites in construction. *Actual issues of theory and practice of application of composite reinforcement in construction. Collection of materials of the III scientific and technical conference*. Izhevsk. 2017, pp. 55–72. (In Russian).

УДК 699.86

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-14-20>

А.А. КРУТОВ, магистр (krutow@yandex.ru),
А.П. КОНСТАНТИНОВ, канд. техн. наук (apkonst@yandex.ru)

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

Требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций исходя из обеспечения комфортных условий

Проведено обоснование требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций исходя из обеспечения комфортных условий пребывания человека вблизи подобных конструкций в зимний период эксплуатации. Для этого в ходе исследования процесса теплообмена излучением между человеком и светопрозрачной конструкцией обоснована минимально допустимая температура внутренней поверхности светопрозрачной конструкции, которая обеспечивает комфортные условия. В ходе численного моделирования процесса нестационарного теплообмена через конструкции стеклопакетов в условиях резкого снижения температуры наружного воздуха определено время запаздывания изменения температуры на внутренней поверхности стеклопакетов вслед за изменением температуры наружного воздуха. Это позволило обосновать расчетную температуру наружного воздуха для определения требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций исходя из обеспечения комфортных условий. Оно должно быть таким, чтобы обеспечить температуру на ее внутренней поверхности не ниже, чем на непрозрачной ограждающей конструкции. Это условие пока технологически невыполнимо для светопрозрачных конструкций, применяемых в настоящее время в типовом строительстве. Однако минимальных значений сопротивления теплопередаче, соответствующих интенсивности теплообмена, при котором человек чувствует себя вблизи светопрозрачной конструкций все еще комфортно ($q = 93 \text{ Вт/м}^2$), можно достичь на практике. Для условий РФ эта величина в среднем только в 1,4 раза выше нормативных значений. Установлено, что допустимая температура на внутренней поверхности светопрозрачной конструкции сопоставима с нормативной температурой точки росы. Ввиду этого видится целесообразным в случаях, когда не выполняется детальный расчет условий теплообмена между человеком и светопрозрачной конструкцией, выполнять назначение требуемого сопротивления светопрозрачных конструкций исходя из недопустимости образования конденсата на их внутренней поверхности при нормативных значениях температуры и относительной влажности внутреннего воздуха. При этом из-за малой тепловой инерции светопрозрачных конструкций в качестве расчетной температуры наружного воздуха следует использовать абсолютно минимальную.

Ключевые слова: светопрозрачные конструкции, окна, тепловая защита, комфортные условия, энергоэффективность.

Для цитирования: Крутов А.А., Константинов А.П. Требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций исходя из обеспечения комфортных условий // *Жилищное строительство*. 2021. № 11. С. 14–20. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-14-20>

A.A. KRUTOV, Master's Degree (postgraduate student) (krutow@yandex.ru),
A.P. KONSTANTINOV, Candidate of Sciences (Engineering) (apkonst@yandex.ru)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

The Required Resistance to Heat Transfer of Translucent Enclosing Structures Based on the Comfortable Conditions Provision

We have justified the required resistance to heat transfer of translucent structures based on ensuring comfortable conditions for a person to stay near such structures during the winter period of operation. We have justified the minimum permissible temperatures of the inner surface of the translucent structure, which provides comfortable conditions. To do this, we investigated the process of heat exchange by radiation between a person and a translucent structure. We carried out numerical simulation of the process of non-stationary heat exchange through the construction of insulating glass units in conditions of a sharp decrease in outdoor temperature. This allowed us to determine the delay time of the temperature change on the inner surface of the insulating glass units following the change in the temperature of the outside air. Thanks to this, we have justified the calculated outdoor air temperature to determine the required

heat transfer resistance of translucent structures based on providing comfortable conditions. The required resistance to heat transfer of a translucent structure when calculating from comfortable conditions should be such as to ensure that the temperature on its inner surface is not lower than on an opaque enclosing structure. This condition is still technologically impossible for translucent structures currently used in standard construction. However, the minimum values of heat transfer resistance corresponding to the intensity of heat exchange, at which a person feels comfortable near translucent structures ($q = 93 \text{ W/m}^2$), can be achieved in practice today. For the conditions of the Russian Federation, this value is now on average only 1.4 times higher than the standard values. It is established that the permissible temperature on the inner surface of the translucent structure is comparable to the standard dew point temperature. In view of this, it seems expedient in cases where a detailed calculation of the conditions of heat exchange between a person and translucent structures is not performed, to assign the required resistance of translucent structures based on the inadmissibility of condensation on their inner surface at standard values of temperature and relative humidity of the internal air. At the same time, due to the low thermal inertia of translucent structures, an absolutely minimum temperature should be used as the calculated outdoor air temperature.

Keywords: translucent enclosing structures, windows, thermal protection, comfortable conditions, energy efficiency.

For citation: Krutov A.A., Konstantinov A.P. The required resistance to heat transfer of translucent enclosing structures based on the comfortable conditions provision. *Zhilyshchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 11, pp. 14–20. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-14-20>

Современные тенденции в архитектуре и строительстве связаны со значительным увеличением доли применения светопрозрачных ограждающих конструкций (далее – светопрозрачных конструкций) в проектах как общественных, так и жилых зданий [1, 2]. При этом массово применяемые в существующей строительной практике типы светопрозрачных конструкций имеют значительно более низкие (до пяти и более раз) теплотехнические характеристики по сравнению с непрозрачными ограждающими конструкциями, выполненными с использованием эффективных утеплителей. Так, для условий г. Москвы, согласно СП 50.13330 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003», требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций составляет $0,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, в то время как для непрозрачных стеновых конструкций оно составляет уже $2,99 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Во многих случаях это обстоятельство является причиной невозможности обеспечения комфортных условий пребывания человека вблизи светопрозрачных конструкций без использования дополнительных компенсирующих инженерно-технических мероприятий по отоплению, вентиляции и солнцезащите [3]. При этом для климатических условий РФ наиболее остро стоит вопрос обеспечения комфортных условий вблизи светопрозрачных конструкций в зимний период эксплуатации [4, 5].

В настоящее время назначение нормируемых показателей теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций происходит исходя из среднестатистических технологических возможностей отрасли их производства. Выполнение всех рассмотренных выше критериев зачастую не позволяет обеспечить комфортные условия пребывания людей вблизи светопрозрачных конструкций в зимний период эксплуатации. В рамках данной статьи авторы ставят цель оценить возможность обеспечения комфортных условий вблизи светопрозрачных конструкций, которые массово применяются в существующей строительной практике.

Обоснование допустимой температуры на внутренних поверхностях светопрозрачных конструкций для обеспечения комфортных условий

Комфортность пребывания человека вблизи наружной ограждающей конструкции в зимний период эксплуатации зависит прежде всего от интенсивности лучистого теплообмена между внутренними поверхностями светопрозрачных конструкций и телом человека. Проведенные гигиенические исследования показывают, что наиболее чувствительным к радиационному теплообмену является поверхность головы, а также верхняя часть спины человека. При этом для обеспечения комфортных тепловых условий необходимо, чтобы элементарная площадка на поверхности указанных частей тела человека отдавала тепло излучением в сторону холодной поверхности с интенсивностью до $70\text{--}93 \text{ Вт}/\text{м}^2$ [6]. Интенсивность теплообмена излучением между поверхностями определяется прежде всего разностью их температуры. Поэтому основным критерием обеспечения комфортности пребывания человека вблизи наружной ограждающей конструкции в зимний период эксплуатации можно считать ограничение допустимой минимальной температуры на ее внутренней поверхности. В общем случае данная величина может быть найдена из уравнения баланса лучистого теплообмена элементарной площадки на поверхности тела человека, стоящего около ограждающей конструкции. Для каждой конкретной ситуации допустимая температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции будет своя, так как она зависит от температуры, геометрических размеров, ориентации, коэффициентов приведенного излучения и коэффициентов облученности поверхностей, расчетного положения человека относительно указанных поверхностей. Для непрозрачных ограждающих конструкций допустимая температура на их внутренних поверхностях составляет $16\text{--}18\text{°C}$ (при $q_{\text{луч}}=70 \text{ Вт}/\text{м}^2$). Это значение температуры ранее (до введения в действие СП 50.13330) в неявном виде

использовалось при назначении допустимого перепада температуры между внутренней поверхностью ограждающей конструкции и температурой внутреннего воздуха. Однако ни ранее, ни в настоящее время аналогичные требования по обеспечению комфортных условий вблизи светопрозрачных конструкций при назначении их теплотехнических характеристик не учитываются. Причина в том, что светопрозрачные конструкции не входили (и пока еще не входят) в обслуживаемую (обитаемую) зону нахождения человека, где необходимо обеспечивать требуемые параметры микроклимата. Очевидно, что в современных условиях, когда не только в общественных, но и в жилых зданиях используются светопрозрачные фасады и крупноформатные окна, подобные требования уже нельзя полностью игнорировать.

Особенностью теплообмена излучением с участием светопрозрачных конструкций (с низкоэмиссионными стеклами) является то, что тепловая энергия солнечного излучения свободно проходит через стекло (в видимом и коротковолновом ИК-диапазоне), а обратное излучение от нагретых поверхностей внутри помещения (длинноволновое ИК-излучение) отражается от этого стекла [7]. В этом случае стекло ведет себя как обычная непрозрачная стена. В связи с этим для обеспечения комфортных условий вблизи светопрозрачных конструкций необходимо обеспечить такую же температуру на их внутренних поверхностях, как и на непрозрачных ограждающих конструкциях (т. е. не менее 16°C при температуре внутреннего воздуха +20°C и не менее 18°C при температуре внутреннего воздуха +22°C).

Рассмотрим также случай с менее жестким значением допустимой интенсивности теплообмена $q_{\text{луч}}=93 \text{ Вт/м}^2$ (см. ранее), когда человек находится вблизи сплошной светопрозрачной конструкции в просторном отапливаемом помещении. При этом будем учитывать теплообмен излучением человека только с внутренней поверхностью светопрозрачной конструкции. Для рассматриваемого случая уравнение баланса лучистого теплообмена может быть представлено в виде:

$$q_{\text{л}} = C_0 \varepsilon_{\text{пр}} \Phi \left(\left(\frac{T_{\text{чел}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{спк}}}{100} \right)^4 \right), \quad (1)$$

где $C_0=5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенный относительный коэффициент излучения при теплообмене между поверхностями, рассчитываемый по формуле:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{ст}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{чел}}} - 1}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{\text{ст}}=0,92$ – коэффициент излучения поверхности стекла (в расчетах не учитываются профильные эле-

менты светопрозрачных конструкций); $\varepsilon_{\text{чел}}=0,95$ – коэффициент излучения поверхности человеческой кожи. Для рассматриваемого случая $\varepsilon_{\text{пр}}=0,87$; Φ – коэффициент облученности, который может быть рассчитан по формуле [6]:

$$\Phi = 1 - 0,8 \left(\frac{x}{l} \right), \quad (3)$$

где x – расстояние от человека до поверхности, м; $l = \sqrt{F_n}$ – характеристический размер поверхности, м. Для рассматриваемого в работе случая $\Phi=0,92$ (при $x=0,5$ м; светопрозрачная конструкция размером $a=6$ м и $b=4,2$ м; $F_n=5,01 \text{ м}^2$); $T_{\text{чел}}$ – температура поверхности головы человека, К. $T_{\text{чел}}=30+273=303 \text{ К}$; $T_{\text{спк}}$ – температура внутренней поверхности светопрозрачной конструкции, К.

Итого имеем следующую допустимую температуру на внутренней поверхности светопрозрачных конструкций, при которой будет обеспечено комфортное пребывание человека вблизи данной конструкции $T_{\text{спк}}^{\text{комф}} \geq 9,7$ (при $q_{\text{л}}=93 \text{ Вт/м}^2$).

Как видно, данное значение температуры значительно превосходит стандартные значения температуры на внутренней поверхности остекления [8], регламентируемые действующими нормативными документами (+3°C), а также близко к температуре точки росы (10,2°C), определенной для расчетных значений температуры +20°C и относительной влажности (55%) внутреннего воздуха.

Обоснование расчетной температуры наружного воздуха для определения требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций исходя из комфортных условий

Очевидно, что для жилых и большинства общественных зданий комфортные условия микроклимата должны быть обеспечены в любой период их эксплуатации, в том числе в периоды резких изменений температуры наружного воздуха. Для этого необходимо рассматривать нестационарные условия теплопередачи через ограждающие конструкции. Однако описание и моделирование процесса теплопередачи в нестационарной постановке является достаточно трудоемкой задачей. Поэтому на практике удобнее рассматривать конструкции в стационарных условиях теплопередачи, где в качестве расчетной будет принята температура наружного воздуха, которая действует в течение времени ее охлаждения до стационарного режима теплопередачи [9]. Расчетная температура наружного воздуха зависит от ее тепловой инерции (массивности) ограждающей конструкции. В существующей строительной практике тепловая инерция светопрозрачных конструкций не рассчитывается.

Инженерные методы назначения расчетной температуры наружного воздуха для подобных конструкций не разработаны. Выполнить обоснование расчетной температуры наружного воздуха для определения требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций можно по времени ее выхода на стационарный режим теплопередачи.

В данной статье авторы рассматривают тепловую инерцию как свойство ограждающей конструкции сопротивляться изменению температуры наружного воздуха. Ввиду того, что светопрозрачное заполнение занимает большую часть площади светопрозрачной конструкции, рассмотрим только тепловую инерцию стеклопакетов. Выполним оценку времени запаздывания изменения температуры внутренней поверхности стеклопакетов по их центральной части (без учета краевых зон) в условиях резкого снижения температуры наружного воздуха и постоянной температуре воздуха внутри помещения. В расчетах примем следующий характер изменения температуры наружного воздуха:

– на начальном этапе температура наружного воздуха является постоянной и составляет -10°C ; конструкция стеклопакета находится в стационарных условиях теплопередачи;

– на втором этапе температура наружного воздуха снижается со скоростью $1^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

Указанная скорость снижения температуры наружного воздуха получена на основе анализа данных метеонаблюдений Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации (Научно-прикладной справочник «Климат России». URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/> (дата обращения 10.11.2021)). Она соответствует максимальной амплитуде суточного хода и скорости изменения температуры наружного воздуха, зафиксированной в ряде населенных пунктов РФ (рис. 1). Следует отметить, что эти климатические данные являются индивидуальными для каждого населенного пункта и могут изменяться в более широких пределах.

Рассмотрим только типовые конструкции стеклопакетов, применяемые в настоящее время в массовом строительстве. Теплотехнические характеристики стеклопакетов, а также их газовых прослоек представлены в табл. 1. Сопротивление теплопередаче стеклопакетов получено на основе данных производителей. Коэффициенты теплоотдачи наружной и внутренней поверхности стеклопакетов были приняты стандартными и равными соответственно 23 и 8 Вт/(м²·°C). Эквивалентные коэффициенты теплопроводности газовых прослоек рассчитывались на основе данных их толщины и сопротивления теплопередаче стеклопакетов. Удельная теплоемкость и плотность газа в

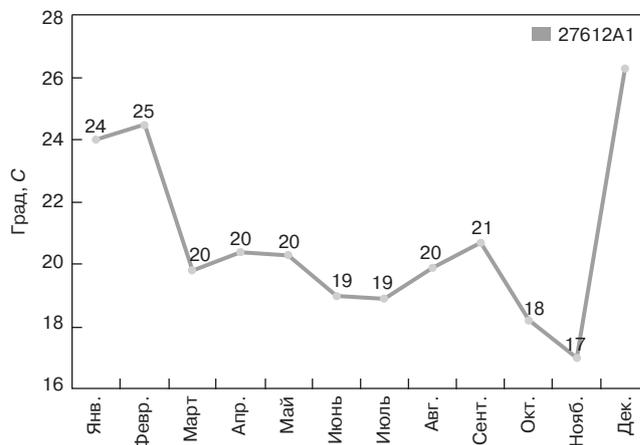


Рис. 1. Максимальная амплитуда суточного хода температуры для г. Москвы

Fig. 1. The maximum amplitude of the daily course of temperatures for Moscow

Таблица 1
Table 1

Теплотехнические характеристики стеклопакетов, принятые в расчетах
Thermal characteristics of insulating glass units, taken in the calculations

Конструкция стеклопакета	Сопротивление теплопередаче стеклопакета, (м ² ·°C)/Вт	Эквивалентный коэффициент теплопроводности газовой прослойки, Вт/(м·°C)
4-16-4 (6-16-6)	0,34	0,095
4-16-И4 (6-16-И6)	0,53	0,044
4-16-4-16-4 (6-16-4-16-6)	0,53	Наружная 0,091 / внутренняя 0,091
4-16-4-16-И4 (4-16-4-16-И4)	0,76	Наружная 0,091 / внутренняя 0,039
4-16Ar-И4 (6-16Ar-И6)	0,69	0,032
4-16Ar-4-16Ar-4И (6-16Ar-4-16Ar-6И)	0,96	Наружная 0,059 / внутренняя 0,032

прослойках были условно приняты постоянными и равными соответственно 1005 Дж/(кг·K) и 1,29 кг/м³ (для воздуха) и 519 Дж/(кг·K) и 1,69 кг/м³ (для аргона).

Расчеты указанных стеклопакетов при заданных выше условиях теплопередачи были выполнены в программном комплексе Comsol Multyphysics. Расчеты выполнялись в одномерной постановке. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таким образом, тепловая инерция современных типов стеклопакетов, применяемых в массовом строительстве на территории РФ, составляет в среднем от 20 до 60 мин. Очевидно, что для определенных типов стеклопакетов тепловая инерция может быть и выше, но не будет значительно отличаться от указанных значений.

Таблица 2
Table 2

Время запаздывания изменения температуры внутренней поверхности стеклопакетов по сравнению с изменением температуры наружного воздуха
The delay time of the change in the temperature of the inner surface of insulating glass units compared with the change in the temperature of the outside air

№ п/п	Конструкция стеклопакета	Время запаздывания изменения температуры, мин
1	4-16-4	15
2	4-16-И 4	20
3	6-16-6	25
4	6-16-И 6	30
5	4-Ar16-И 4	20
6	6-Ar16-И 6	32
7	4-16-4-16-4	39
8	4-16-4-16-И 4	45
9	6-16-4-16-6	58
10	6-16-4-16-И6	66
11	4-16Ar-4-16Ar-4И	52
12	6-16Ar-4-16Ar-И6	79

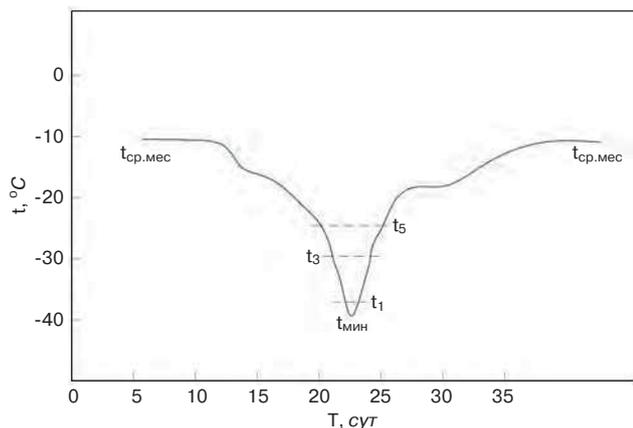


Рис. 2. Типичный характер понижения температуры в наиболее холодный период зимы: t_{\min} – минимальная температура; t_1 , t_3 , t_5 – средняя температура наиболее холодных суток, трех суток, пяти суток соответственно; $t_{\text{сп.мес}}$ – среднемесячная температура

Fig. 2. The typical nature of the temperature drop in the coldest period of winter: t_{\min} – the minimum temperature; t_1 , t_3 , t_5 – the average temperature of the coldest days, three days, five days, respectively; $t_{\text{сп.мес}}$ – the average monthly temperature

При назначении расчетной температуры наружного воздуха для определения сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций и обеспечения комфортных условий следует принимать температуру, равную абсолютно минимальной температуре наружного воздуха, т. е. $T_{\text{нар}} = T_{\text{абс.мин}}$. Данное обстоятельство объясняется тем, что абсолютно минимальная температура наружного воздуха может держаться в течение непродолжительного промежутка времени, но измеряемого все же несколькими часами [10] (рис. 2).

Оценка требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций исходя из обеспечения комфортных условий

Расчет требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций исходя из комфортных условий может быть выполнен по следующей формуле:

$$R_{\text{треб}}^{\text{комф}} = \frac{T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}}}{(T_{\text{вн}} - T_{\text{доп}}) \alpha_{\text{в}}}, \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности светопрозрачной конструкции. В общем случае $\alpha_{\text{в}} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Выполним расчет требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций для ряда регионов РФ как из комфортных условий, так и по действующей нормативной методике (СП 50.13330). Результаты расчета представлены в табл. 3.

Результаты и обсуждение

Обеспечение требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций исходя из комфортных условий, аналогичных непрозрачным ограждающим конструкциям, пока еще невыполнимо на практике, по крайней мере для объектов массового строительства, где применяются светопрозрачные конструкции с одно- и двухкамерными стеклопакетами. Подобные значения сопротивления теплопередаче стеклопакетов могут быть достигнуты только

Таблица 3
Table 3

Требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций исходя из обеспечения комфортных условий
The required resistance to heat transfer of a translucent enclosing structure based on the provision of comfortable conditions

Населенный пункт	Требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$		
	Из комфортных условий, аналогичных непрозрачным ограждающим конструкциям (при $q_{\text{л}} = 70 \text{ Вт}/\text{м}^2$)	Из комфортных условий (при $q_{\text{л}} = 93 \text{ Вт}/\text{м}^2$)	По СП 50.13330
г. Москва	1,97	0,89	0,66
г. Санкт-Петербург	1,03	0,8	0,65
г. Сочи	0,9	0,47	0,3
г. Новосибирск	2,19	0,99	0,74

с применением многокамерных или вакуумных стеклопакетов [11].

Оценка требуемых значений сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций исходя из менее жестких требований к допустимой интенсивности теплообмена, при котором человек чувствует себя вблизи ограждающей конструкции все еще комфортно ($q_{дл} = 93 \text{ Вт/м}^2$), показывает, что их уже вполне можно достичь на практике. Они только в среднем в 1,4 раза выше, чем требуемое значение сопротивления теплопередаче по СП 50.13330. Технологические возможности современной отрасли производства светопрозрачных конструкций позволяют потенциально массово производить светопрозрачные конструкции с подобными теплотехническими характеристиками.

В то же время строительная отрасль пока еще в целом, не готова к подобным изменениям из-за значительного повышения стоимости изготовления подобных конструкций. Однако если рассматривать данное мероприятие в рамках всего жизненного цикла зданий, то применение подобных конструкций не только обеспечит комфортные условия пребывания человека вблизи светопрозрачных конструкций, но и окупится в результате снижения затрат на отопление зданий в зимний период эксплуатации [12].

Следует отметить, что полученное значение допустимой температуры на внутренней поверхности светопрозрачной конструкции сопоставимо с расчетным значением температуры точки росы, регламентируемой действующими нормативными документами. Ввиду этого для случаев, когда не выполняется детальный расчет условий теплообмена системы «человек – све-

топрозрачная конструкция», следует назначать в качестве допустимой температуры на внутренней поверхности светопрозрачной конструкции расчетную температуру точки росы (например, не ниже $+10,2^\circ\text{C}$ для $T_{в} = +20^\circ\text{C}$ и $\varphi = 55\%$).

Авторы понимают, что в данной работе проведено упрощенное обоснование требуемых теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций исходя из комфортных условий. Тем не менее в ходе проведенного анализа существующих научных работ установлено, что требования к теплотехническим характеристикам светопрозрачных конструкций в подобной постановке еще не предъявлялись. Данный вопрос необходимо дополнительно исследовать в части учета тепловой инерции стеклопакетов различной конструкции (толщины стекол, наличия низкоэмиссионных покрытий), а также учесть эффект изменения сопротивления теплопередаче стеклопакетов при понижении температуры наружного воздуха [13]; обосновать влияние профильных элементов на рассматриваемые вопросы; обосновать возможность снижения расчетных значений температуры наружного воздуха для расчета светопрозрачных конструкций, применяемых в зданиях с различным уровнем ответственности. Это позволит повысить точность расчетов.

References

Список литературы

1. Константинов А.П., Ибрагимов А.М. Комплексный подход к расчету и проектированию светопрозрачных конструкций // *Жилищное строительство*. 2019. № 1–2. С. 14–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-14-17>
2. Melnikova I., Boriskina I. Modern translucent structures in multistory residential buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 022021. DOI 10.1088/1757-899X/365/2/022021
3. Плотников А.А. Архитектурно-конструктивные принципы и инновации в строительстве стеклянных зданий // *Вестник МГСУ*. 2015. № 11. С. 7–15.
4. Константинов А.П., Крутов А.А., Тихомиров А.М. Оценка теплозащитных характеристик оконных блоков из ПВХ профилей в зимний период эксплуатации // *Строительные материалы*. 2019. № 8. С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>
5. Konstantinov A.P., Ibragimov A.M. Complex approach to the calculation and design of translucent structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 1–2, pp. 14–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-14-17>
6. Melnikova I., Boriskina I. Modern translucent structures in multistory residential buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 022021. DOI 10.1088/1757-899X/365/2/022021
7. Plontikov A.A. Architectural and engineering principles and innovations in the construction of glass-facade buildings. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 11, pp. 7–15. (In Russian).
8. Konstantinov A.P., Krutov A.A., Tikhomirov A.M. Assessment of the PVC windows thermal characteristics in winter. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 8, pp. 65–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>
9. Zimin A.N., Bochkov I.V., Kryshov S.I., Umnyakova N.P. Heat transfer resistance and temperature on internal surfaces of translucent enclosing structures of residential buildings of Moscow. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 6, pp. 24–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-6-24-29>

5. 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. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-6-24-29>
6. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). СПб.: АВОК Северо-Запад, 2006. 400 с.
7. Борискина И.В. Здания и сооружения со светопрозрачными фасадами и кровлями. Теоретические основы проектирования светопрозрачных конструкций. СПб.: Любавич, 2012. 396 с.
8. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Верховский А.А., Чеботарев А.Г. Требования к теплозащите наружных ограждающих конструкций высотных зданий // *Жилищное строительство*. 2016. № 12. С. 7–11.
9. Ильинский В.М. Строительная теплофизика. Ограждающие конструкции и микроклимат зданий. М.: Высшая школа, 1974. 320 с.
10. Предтеченский В.М. Архитектура гражданских и промышленных зданий. Т. 2. Основы проектирования. М.: Стройиздат, 1976. 215 с.
11. Stratiy P., Klykov I. Vacuum glazed units – Energy efficient glazing // *IOP Conference Series*. 2018. 032013. DOI: [10.1088/1757-899X/365/3/032013](https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032013)
12. Коркина Е.В. Критерий эффективности замены стеклопакетов в здании с целью энергосбережения // *Жилищное строительство*. 2018. № 6. С. 6–9.
13. Banionis K., Kuzmina J., Burlingis A., Ramanauskas J., Paukštys V. The Changes in Thermal Transmittance of Window Insulating Glass Units Depending on Outdoor Temperatures in Cold Climate Countries // *Energies*. 2021. No. 14 (6). 169. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14061694>
6. Bogoslovskij V.N. Stroitel'naja teplofizika (teplofizicheskie osnovy otoplenija, ventiljacii i kondicionirovanija vozduha) [Construction thermophysics (thermophysical fundamentals of heating, ventilation and air conditioning)]. Saint-Petersburg: AVOK Severo-zapad. 2006. 400 p.
7. Boriskina I.V. Zdaniya i sooruzheniya so svetoprozrachnymi fasadami i krovlyami. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya svetoprozrachnyh konstrukcij [Buildings and structures with translucent facades and roofs. Theoretical bases of designing of glass constructions]. Saint-Petersburg: Lyubavich. 2012. 396 p.
8. Umnyakova N.P., Butovsky I.N., Verkhovsky A.A., Chebotarev A.G. Requirements to heat protection of external enclosing structures of high-rise buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 12, pp. 7–11. (In Russian).
9. Il'inskij V.M. Stroitel'naja teplofizika. Ograzhdajushhie konstrukcii i mikroklimat zdaniy [Building thermal physics. Building envelope and microclimate]. Moscow: Vysshaya shkola. 1974. 320 p.
10. Predtechenskij V.M. Arhitektura grazhdanskih i promyshlennyh zdaniy. Tom 2. Osnovy proektirovaniya [Architecture of civil and industrial buildings. Vol. 2. Design Basics]. Moscow: Stroyizdat. 215 p.
11. Stratiy P., Klykov I. Vacuum glazed units – Energy efficient glazing. *IOP Conference Series*. 2018. 032013. DOI [10.1088/1757-899X/365/3/032013](https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032013).
12. Korkina E.V. Criterion of efficiency of glass units replacing in the building with the purpose of energy saving. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 6, pp. 6–9. (In Russian).
13. Banionis K., Kuzmina J., Burlingis A., Ramanauskas J., Paukštys V. The Changes in Thermal Transmittance of Window Insulating Glass Units Depending on Outdoor Temperatures in Cold Climate Countries. *Energies*. 2021. No. 14 (6). 169. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14061694>

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»**

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г., Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.

Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов

Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.



По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»

УДК 699.86

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-21-26>

А.А. ПЛОТНИКОВ, канд. техн. наук (plaa@zmail.ru)

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

Учет температурных воздействий при проектировании несущих конструкций

Обосновывается необходимость обязательного учета температурных воздействий, обусловленных эксплуатационными перепадами температуры и действием солнечной радиации, при назначении проектных решений несущих конструкций. Для этого рассмотрены случаи, когда эксплуатационные перепады температуры приводят к появлению существенных напряжений и деформаций в несущих конструкциях. Всего рассмотрено четыре характерных примера из практики. В первом примере рассмотрено возникновение температурных трещин в несущей железобетонной стене здания в результате солнечного перегрева ее внутренней поверхности, выходящей в подкровельное пространство светопрозрачного купола; во втором – образование трещин в дне бетонной чаши бассейна, расположенного внутри помещения с комнатной температурой $+20^{\circ}\text{C}$ при заливке чаши холодной водопроводной водой с температурой $+4^{\circ}\text{C}$; в третьем – разрушение стыка сваи с рандбалкой в зданиях с открытым подпольем, возводимых в условиях Крайнего Севера; в четвертом – рассмотрена одна из возможных причин разрушения кровли купола вогнутой бетонной оболочки кровли Басманного рынка. На базе рассмотренных примеров автор работы обосновывает необходимость выполнения теплофизических расчетов при проектировании не только ограждающих, но и несущих конструкций зданий. При проектировании объектов необходимо ориентироваться не только на нормативные требования, но и на особенности совместной работы несущих и ограждающих конструкций зданий. Такие особенности трудно формализовать. Чтобы избежать рассматриваемых проблем на практике, необходимо в том числе увеличивать роль строительной физики при подготовке инженеров-строителей.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, несущие конструкции, строительная физика, нагрузки и воздействия, температурные нагрузки.

Для цитирования: Плотников А.А. Учет температурных воздействий при проектировании несущих конструкций // Жилищное строительство. 2021. № 11. С. 21–26. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-21-26>

A.A. PLOTNIKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (plaa@zmail.ru)

National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Consideration of Temperature Actions when Designing Bearing Structures

The necessity of mandatory consideration of temperature influences caused by operational temperature differences and the action of solar radiation is justified when assigning design solutions to load-bearing structures. For this purpose, cases are considered when operating temperature differences lead to the appearance of significant stresses and deformations in load-bearing structures. In total, four typical examples from practice are considered. In the first example, the occurrence of temperature cracks in the bearing reinforced concrete wall of a building as a result of solar overheating of its inner surface, extending into the under – roof space of the translucent dome; in the second, the formation of cracks in the bottom of a concrete basin of a pool located inside a room with a room temperature of $+20^{\circ}\text{C}$ when filling the bowl with cold tap water with a temperature of $+4^{\circ}\text{C}$; in the third – the destruction of the junction of the pile with the end beam in buildings with an open underground built under the conditions of the Far North; in the fourth, one of the possible reasons for the destruction of the dome roof of the concave concrete roof shell of the Basmanny Market. On the basis of the considered examples, the author justifies the need to perform thermo-physical calculations when designing not only enclosing, but also bearing structures of buildings. When designing objects, it is necessary not only to focus on regulatory requirements, but also on the features of joint work of load-bearing and enclosing structures of buildings. Such features are difficult to formalize. In order to avoid these problems in practice, it is necessary to increase the role of building physics when training civil engineers.

Keywords: enclosing structures, bearing structures, building physics, loads and actions, temperature loads.

For citation: Plotnikov A.A. Consideration of temperature actions when designing bearing structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 11, pp. 21–26. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-21-26>

Одной из ключевых задач при проектировании любого здания является построение его рациональной конструктивной схемы, которая бы позволяла обеспечить восприятие всех действующих на здание

нагрузок. Обычно в типовых случаях теплофизические расчеты при этом не учитываются. Расчет температурного режима, как правило, проводится только для ограждающих конструкций зданий с целью обес-

печения комфортных условий эксплуатации внутри помещений. Эти расчеты относятся к строительной физике, а исходные данные для расчета (перепады температуры, интенсивность солнечной радиации и пр.) в подобной постановке рассматриваются как воздействия, влияющие на обеспечение комфортных условий внутри помещений, а не как нагрузки. Однако в некоторых случаях температурные перепады могут приводить к появлению в конструкциях существенных напряжений и деформаций [1–4]. При этом температурные перепады следует рассматривать уже как нагрузки. В рамках данной работы автор ставит перед собой цель привести примеры влияния климатических нагрузок на напряжения и деформации несущих конструкций, а также обосновать необходимость их обязательного учета при проектировании зданий.

Для большинства конструкционных материалов температурная деформация пропорциональна изменению температуры [5]:

$$d = \alpha \cdot L \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где α – коэффициент температурного расширения материала, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; L – длина конструкции, м; ΔT – разница температуры, $^{\circ}\text{C}$.

Как известно, коэффициент температурного расширения металлических и железобетонных конструкций имеет величину порядка $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, что составляет 1 мм/м при перепаде температуры 100°C .

В первом примере рассмотрены монолитные стены здания со светопрозрачным куполом размером 5×5 м. В стеклянной конструкции купола была реализована идея разделения несущей и ограждающей функций. Верхняя плоская кровля в одно стекло предназначена для восприятия снеговой нагрузки, а нижняя наклонная кровля со стеклопакетами выполняет функцию по тепловой защите помещения. Между верхней и нижней кровлями находится свободное проветриваемое воздушное пространство. Как в верхней кровле, так и в конструкции стеклопакетов было применено обычное прозрачное стекло. Вентиляционные устройства в конструкции нижнего купола были закрыты. Конструкция купола показана на рис. 1.

Практически в первое же лето после начала эксплуатации в несущей железобетонной стене здания, расположенной под стеклянным куполом, были отмечены температурные трещины. При этом в дневное время отмечалось раскрытие трещин, а ночью – при понижении температуры под куполом – их закрытие.



Рис. 1. Температурные трещины в несущей монолитной стене под стеклянным куполом

Fig. 1. Temperature cracks in the bearing monolithic wall under the glass roof

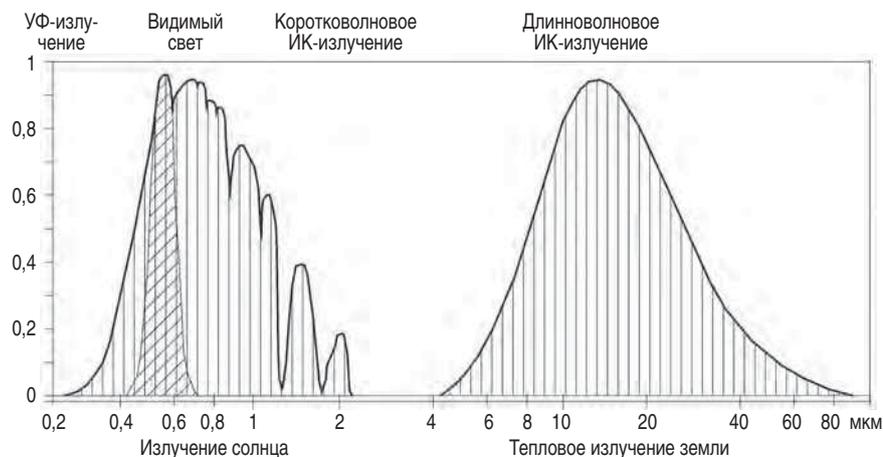


Рис. 2. Спектры теплового излучения солнца и земли

Fig. 2. Thermal radiation spectra of the Sun and the Earth

Распределение тепловой энергии
солнца по спектру излучения
Distribution of the thermal energy
of the Sun by the radiation spectrum

Спектр излучения	Длина волны, нм	Тепловая энергия, %
Ультрафиолет – УФ	< 380	1
Видимый спектр	380–760	53
Инфракрасное излучение – ИК	760–2500	46

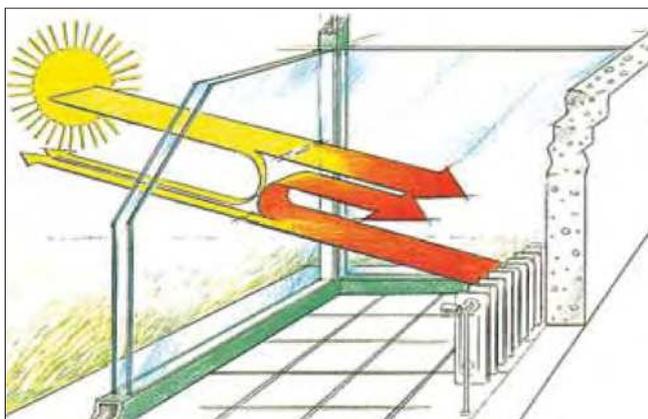


Рис. 3. Накопление тепловой энергии солнца в пределах замкнутого остекленного пространства

Fig. 3. Accumulation of thermal energy of the Sun within a closed glazed space

В результате солнечного облучения температура внутренней поверхности стены в верхней зоне помещения может достигать 70°C и более. В то же время в нижней зоне помещения температура воздуха может быть на 20–30°C ниже. При длине стены 5 м и перепаде температуры 50°C величина температурной деформации в нагретой зоне стены по отношению к «холодной» составит $d=5 \cdot 1 \cdot 0,5=2,5$ мм. В монолитных зданиях сопряжения стен между собой и с перекрытиями являются достаточно жесткими, что не дает возможности стенам свободно расширяться как в статически определяемых конструкциях. Возникающие местные напряжения приводят к тому, что в стенах при перегреве днем образуются трещины, которые при охлаждении в ночное время закрываются.

Подобное явление имеет вполне объяснимую физическую природу [6]. Тепловое излучение солнца приходится на диапазон длин волн от 300 до 2500 нм. Сосредоточенная в этом диапазоне тепловая энергия может быть распределена по длинам волн в соответствии с таблицей. Тепловые солнечные лучи с длиной волны 400–2500 нм большей частью проходят сквозь стекло (до 90%), частично отражаются от его

поверхности и частично поглощаются. Попадая через проемы, тепловые лучи нагревают стены, полы и другие поверхности в помещении, которые поглощают это тепло, а затем излучают, но уже на волне длиной 8–30 мкм, соответствующей диапазону «земной» температуры, как показано на рис. 2. Обычные стекла практически непрозрачны в этом диапазоне. Таким образом конструкции в помещении нагреваются, как показано на рис. 3.

Во втором примере рассмотрено образование температурных трещин в несущих конструкциях при эксплуатации бетонной чаши бассейна 4×12 м. Продольный и поперечный разрезы чаши бассейна представлены на рис. 4.

После устройства чаши бассейна и полного набора прочности бетона в течение месяца было проведено испытание чаши на водонепроницаемость. В чашу в летнее время была залита вода комнатной температуры. В течение испытательного срока никаких протечек не наблюдалось. Чаша бассейна была принята как готовая к эксплуатации. Здание достраивалось еще несколько лет, и после окончательной отделки мозаикой бассейн был залит водой. Сразу после этого образовались трещины на внешней стороне дна бассейна, где было предусмотрено свободное пространство, позволяющее наблюдать поведение чаши и проводить ремонты. Проведенные исследования показали, что вода для заливки в бассейн взята из скважины и имеет температуру около +4°C. В процессе заливки дно бассейна охладилось на 15–20°C по сравнению с остальными частями бассейна и образовались температурные трещины, расчетная величина которых при ширине 3,6 м и перепаде 20°C составила $d=0,72$ мм.

Положение усугубилось тем, что стенки чаши бассейна были запроектированы в виде жесткой H-образной коробки и дно чаши примыкало к стенке в середине ее высоты увеличив жесткость конструкции. Кроме того, строители при бетонировании чаши устроили технологический шов в ее середине,

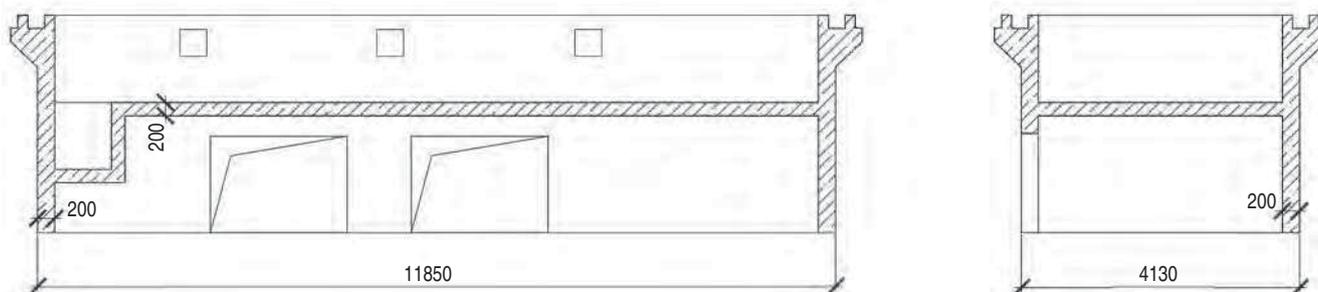


Рис. 4. Продольный и поперечный разрезы чаши бассейна

Fig. 4. Longitudinal and transverse section of the pool bowl



Рис. 5. Пример устройства свайного фундамента на вечномерзлых грунтах (а) и разрушения оголовков свай в зоне примыкания к рандбалке (б)

Fig. 5. An example of the construction of a pile foundation on permafrost soils (a) and the destruction of pile heads in the area adjacent to the grillage (b)

ослабив тем самым наиболее напряженное место бассейна.

В третьем примере рассмотрено разрушение узла стыка свай с рандбалкой в зданиях с открытым подпольем зимой в условиях Крайнего Севера. Основной особенностью строительства капитальных зданий в районах Крайнего Севера является наличие вечномерзлых грунтов [7–9]. Для сохранения мерзлого состояния грунтового основания здания поднимают над землей на 1,5–2 м. В результате наиболее рациональным типом фундаментов являются свайные фундаменты с обвязкой по контуру монолитной рандбалкой. При полном замерзании грунта заглубленная часть сваи оказывается жестко защемленной в основании с консолью 1,5 м (незащемленная в мерзлом грунте часть сваи). Летом в конце июня грунт под зданием начинает оттаивать, а в конце сентября постепенно замерзает. Консоль увеличивается, и рандбалка свободно расширяется.

При годовых перепадах температуры в районах Крайнего Севера в 100°C температурные деформации балки длиной 30 м составляют $d=30$ мм. Особенно опасны деформации для крайних свай при отключенном отоплении. Когда здание прогревается, частично температурные нагрузки воспринимаются перекрытием и примыкающими к нему стенами. При такой расчетной схеме даже небольшие горизонтальные перемещения оголовков свай, связанные с температурной деформацией рандбалки, приводят к разрушению стыка свая – балка (рис. 5).

Для снижения нагрузок на этот узел есть два пути: устройство температурных швов в балке через 7–10 м и повышение гибкости сваи за счет увеличения свободой длины, незащемленной в мерзлые

грунты (рис. 6). В первом случае швы работают, пока нет жестких связей со зданием. Во втором случае гибкость сваи сохраняется в течение всего года. Второе мероприятие может быть осуществлено путем устройства защитного короба в виде щебеночной подсыпки вокруг сваи на глубину до 1,5 м. В результате свободная длина сваи увеличивается до 3 м, что

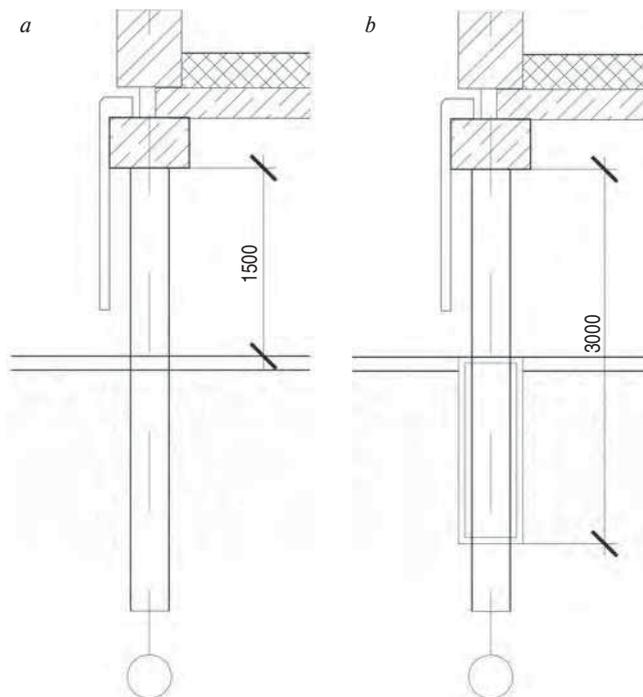


Рис. 6. Технические мероприятия для компенсации температурных деформаций ростверка. Устройство температурных швов в ростверке (а) и устройство защитного короба вокруг сваи на глубину щебеночной отсыпки (б)

Fig. 6. Technical measures to compensate for temperature deformations of the grillage. The device of temperature seams in the grillage (a) and the device of a protective box around the pile to the depth of the crushed stone filling (b)

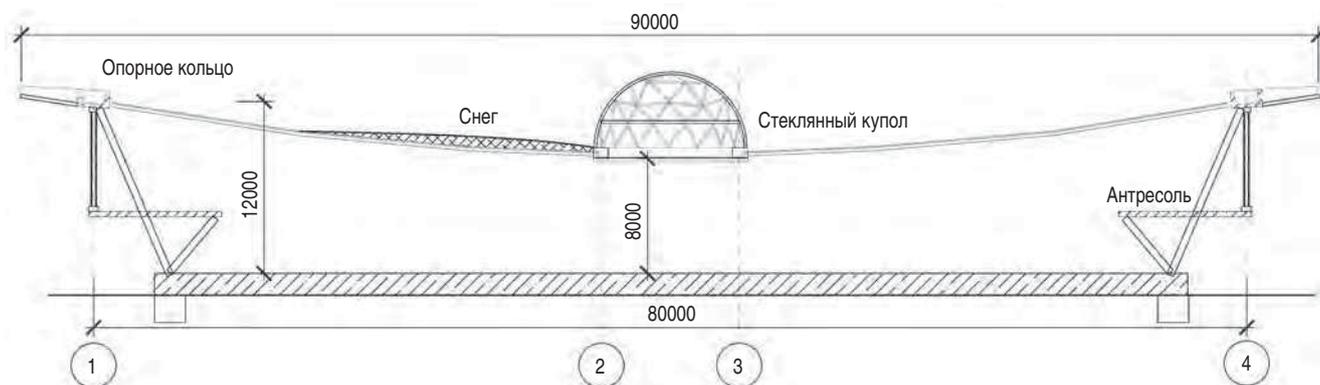


Рис. 7. Разрез по зданию Басманного рынка
Fig. 7. Section of the Basmanny Market building

снижает напряжения в узле защемления сваи в балке за счет повышения гибкости сваи.

Другим характерным примером является обрушение кровли Басманного рынка, построенного в 1977 г. Конструкция покрытия была выполнена в виде висячего купола диаметром 90 м с опорой по периметру здания. Здание представляло собой одноэтажную конструкцию с висящей вогнутой крышей, состоящую из керамзитобетонных плит, поддерживаемых системой из 80 вант (тросов). Они были растянuty между двумя стальными кольцами — внутренним, расположенным в центре здания, и внешним диаметром 80 м, установленным на его краю. Внутренних вертикальных опор конструкция не имела (рис. 7).

В конце февраля 2006 г. произошло обрушение крыши Басманного рынка (Басманный рынок упал по совокупности URL: https://www.gazeta.ru/realty/2006/04/27_a_626891.shtml / (дата обращения 10.11.2021)). Здание до обрушения эксплуатировалось 30 лет. Эксперты подтвердили, что утеплитель кровли местами находился в переувлажненном состоянии, а некоторые элементы несущих конструкций оболочки имели коррозионный износ до 50%. Критическим для Басманного рынка оказался сильный снегопад, прошедший в столице в ночь с 22 на 23 февраля. Снег еще больше нагрузил и без того деформированные несущие конструкции здания.

Одной из причин разрушения обратного купола могли явиться местные температурные деформации бетонной оболочки, вызванные ее локальным охлаждением вследствие протечки кровли и намокания утеплителя. Это можно объяснить тем, что подобные конструкции, представляющие эффективные и экономичные тонкостенные пространственные покрытия, имеют малую пространственную жесткость. Климатические условия России предполагают возможность больших перепадов годовых температур и абсолютной влажности воздуха. В этих условиях деформации от температурно-влажностных напряжений, возника-

ющих в оболочковых покрытиях зданий и сооружений, могут привести к нарушению пароизоляции. При этом утеплитель увлажняется, тепловой поток через покрытие увеличивается, изменяется температурный режим в системе совмещенное покрытие – снег, что приводит к подтаиванию снега на границе с покрытием. Талая вода, вытекая из-под снега, замерзает: начинается процесс льдообразования. Происходит неравномерное перераспределение снеговой нагрузки (теперь уже в виде льда), что особенно опасно для пространственных конструкций. В такой постановке основной причиной разрушения бетонной оболочки является местное охлаждение вследствие протечки кровли и намокания утеплителя.

Обсуждение результатов

Приведенные примеры показывают необходимость теплофизических расчетов не только для ограждающих конструкций здания, но и для несущих, подвергающихся температурным воздействиям. Наиболее часто это связано с солнечным перегревом в течение суток и годовыми температурными перепадами наружного воздуха. Перегрев стены от солнечного облучения является типовым случаем и не приводит к разрушению конструкции. Поэтому строители мало обращают на него внимания. Во втором случае это ошибка проектировщиков, не предусмотревших такой случай. В третьем случае выход был найден за счет замены железобетонных свай на металлические трубы (Норильск) и за счет повышения свободной длины сваи (г. Мирный), как это показано на рис. 6. В четвертом случае с вогнутым куполом недостатком является несоответствие конструктивной схемы здания объемно-планировочному решению. Архитекторы хотели сделать красивое стеклянное здание, но такая архитектура не соответствует климатическим условиям РФ и возможностям содержать ее на должном уровне. Надо отметить, что установка опор под внутреннее кольцо не ухудшила бы эксплуатацион-

ные качества здания, но значительно повысило бы надежность сооружения.

Выводы

1. Как показано выше, тепловые воздействия, а также в некоторых случаях и воздействия солнечного излучения приводят к нагрузкам на несущие конструкции. Неучет этих нагрузок в лучшем случае ведет к снижению эксплуатационных качеств и долговечности конструкций, но может привести в отдельных случаях в том числе и к разрушению зданий. Отсюда следует необходимость выполнения теплофизических расчетов при проектировании не только ограждающих, но и несущих конструкций.

2. Выбор оптимальной конструктивной схемы здания должен быть основан на тесном взаимодействии архитекторов и инженеров, а также соответствовать фактическим климатическим условиям эксплуатации.

3. Приведенные примеры температурных деформаций не являются типовыми случаями. Возникает необходимость ориентироваться не только на нормы, но и на фактические условия проекта. Роль строительной физики в подготовке инженеров-строителей должна возрастать, иначе не избежать указанных проблем.

Список литературы

1. Мкртычев О.В., Сидоров Д.С. Расчет железобетонного здания на температурное воздействие // *Вестник МГСУ*. 2012. № 5. С. 50–55.
2. Альхименко А.И., Снегирев А.И. Влияние температуры замыкания при возведении на напряжения в несущих конструкциях // *Инженерно-строительный журнал*. 2008. № 2 (2). С. 8–16.
3. Матвеева Н.А., Корсун В.И., Данилов Н.Д., Федотов П.А. Влияние температурных климатических воздействий на напряженно-деформированное состояние наружных стен здания в условиях Якутии // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. № 3 (131). С. 30–35.
4. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М.: АСВ, 2007. 476 с.
5. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. М.: Техносфера, 2004. 241 с.
6. Борискина И.В. Здания и сооружения со светопрозрачными фасадами и кровлями. Теоретические основы проектирования светопрозрачных конструкций. СПб.: Любавич, 2012. 396 с.
7. Плотников А.А., Гурьянов Г.Р. Современные методы охлаждения многолетнемерзлых грун-

товых оснований многоэтажных жилых зданий // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 5. С. 535–544. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.5.535-544

8. Охлопкова Т.В., Гурьянов Г.Р., Плотников А.А. Строительство и проектирование зданий и сооружений в условиях вечной мерзлоты // *Инженерный вестник Дона*. 2018. № 4 (51). С. 184.
9. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах / Под ред. Ю.Я. Велли, В.П. Докучаева, Н.Ф. Федорова. Л.: Стройиздат, 1977. 552 с.

References

1. Mkrtychev O.V., Sidorov D.S. Analysis of exposure of reinforced concrete buildings to temperature loads. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 5, pp. 50–55. (In Russian).
2. Al'himenko, A.I., Snegirev A.I. Influence of the short circuit temperature during erection on the stresses in load-bearing structures. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2008. No. 2 (2), pp. 8–16 (In Russian).
3. Matveeva N.A., Korsun V.I., Danilov N.D., Fedotov P.A. Influence of temperature weather effects on the stress-strain state of external walls in the conditions of yakutia. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2018. No. 3 (131), pp. 30–35. (In Russian).
4. Gordeev V.N., Lantuh-Ljashhenko A.I., Pashinskij V.A., Perel'muter A.V., Pichugin S.F. Nagruzki i vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya [Loads and actions on buildings and structures]. Moscow: ASV. 2007. 476 p. (In Russian).
5. Blazi V. Spravochnik proektirovshhika. Stroitel'naja fizika [Designer's handbook. Building physics] Moscow: Tehnosfera. 2004. 241 p. (In Russian).
6. Boriskina I.V. Zdaniya i sooruzheniya so svetoprozrachnymi fasadami i krovlyami. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya svetoprozrachnykh konstrukcij [Buildings and structures with translucent facades and roofs. Theoretical bases of designing of glass constructions]. Saint-Petersburg: Lyubavich. 2012. 396 p. (In Russian).
7. Plotnikov A.A., Guryanov G.R. Modern methods of cooling permafrost ground beds of multi-storey residential buildings. *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 5, pp. 535–544. (In Russian). DOI: 10.22227/1997-0935.2021.5.535-544
8. Ohlopko T.V., Guryanov G.R., Plotnikov A.A. Construction and design of buildings and structures in permafrost conditions. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2018. No. 4 (51), pp. 184. (In Russian).
9. Spravochnik po stroitel'stvu na vechnomerzlykh gruntakh [Handbook of construction on permafrost]. Pod red. Velli Yu.Ya., Dokuchaeva V.P., Fedorova N.F. Leningrad: Stroyizdat. 1977. 552 p.

УДК 699.844.3

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-27-33>

Д.В. МОНИЧ, канд. техн. наук (dmitriy.monich@mail.ru)

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

Метод расчета звукоизоляции легких перегородок с бескаркасными антирезонансными панелями

Представлены результаты исследований звукоизоляции нового типа ограждающих конструкций – легких перегородок с бескаркасными антирезонансными панелями, предназначенных для применения в гражданском строительстве. Теоретические исследования проведены на базе теории самосогласования волновых полей с учетом резонансного и инерционного прохождения звука через ограждения. Разработан метод расчета звукоизоляции ограждающих конструкций, который может применяться при проектировании перегородок между помещениями зданий. Метод расчета включает в себя шесть этапов: определение граничных частот областей резонансного прохождения звука через ограждение; расчет коэффициентов прохождения звука через ограждение в отдельных диапазонах частот; расчет звукоизоляции ограждения; расчет индекса изоляции воздушного шума для ограждения; сравнение расчетных данных с нормативными требованиями; оценка рациональности конструктивного решения звукоизолирующего ограждения по сравнению с аналогами. На примере перегородки из монолитного гипсобетона проведено сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных измерений в натурных условиях. Разработанный метод расчета звукоизоляции обеспечивает хорошую сходимости результатов в широком диапазоне средних и высоких частот. Применение легкой перегородки с антирезонансными панелями позволило уменьшить общую поверхностную плотность ограждения на 5 и 32%, а также уменьшить общую толщину ограждения на 42 и 53% по сравнению с двумя ограждениями-аналогами соответственно.

Ключевые слова: воздушный шум, легкая перегородка, антирезонансная панель, звукоизоляция, метод расчета, резонансное прохождение звука, инерционное прохождение звука.

Для цитирования: Монич Д.В. Метод расчета звукоизоляции легких перегородок с бескаркасными антирезонансными панелями // *Жилищное строительство*. 2021. № 11. С. 27–33.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-27-33>

D.V. MONICH, Candidate of Sciences (Engineering) (dmitriy.monich@mail.ru)

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

Method for Calculating of Sound Insulation of Lightweight Partitions with Frameless Anti-Resonant Panels

The results of studies of sound insulation of a new type of enclosing structures – lightweight partitions with frameless anti-resonant panels, intended for use in civil engineering are presented. Theoretical studies were carried out on the basis of the theory of self-coincidence of wave fields, taking into account the resonant and inertial sound transmission through the enclosures. A method for calculating of sound insulation of enclosing structures has been developed, which can be used in the design of partitions between the premises of buildings. The calculation method includes six stages: determining the boundary frequencies of the areas of resonant sound transmission through the enclosing structure, calculating the coefficients of sound transmission through the enclosure in individual frequency ranges, calculating of sound insulation of the enclosure, calculating of airborne noise insulation index for the enclosure, comparing the calculated data with the standard requirements, assessment of the rationality of the constructive solution of the sound-insulating enclosure in comparison with analogues. On the example of a partition made of monolithic gypsum concrete, a comparison of the results of theoretical calculations and experimental measurements in natural conditions is carried out. The developed method for calculating of sound insulation provides good convergence of results in a wide range of medium and high frequencies. The use of a lightweight partition with anti-resonant panels made it possible to reduce the overall surface density of the enclosure by 5 and 32%, and also to reduce the total thickness of the enclosure by 42 and 53%, compared to two analogous enclosures, respectively.

Keywords: airborne noise, lightweight partition, anti-resonant panel, sound insulation, calculation method, resonant sound transmission, inertial sound transmission.

For citation: Monich D.V. Method for calculating of sound insulation of lightweight partitions with frameless anti-resonant panels. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 11, pp. 27–33. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-27-33>

Население крупных и малых городов находится под негативным воздействием шума, уровни которого неуклонно растут [1, 2]. Защита от шума в помещениях жилых зданий является одним из требований Федерального закона № 384 от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и соору-

жений» (ст. 10). Наиболее эффективным способом снижения шума, проникающего между помещениями зданий, является звукоизоляция ограждающих конструкций [3–5]. Объектом исследования являются легкие ограждения, имеющие поверхностную плотность (μ , кг/м²) в пределах: $50 \text{ кг/м}^2 < \mu \leq 120 \text{ кг/м}^2$, применя-

емые в качестве перегородок между помещениями гражданских зданий. По результатам натуральных экспериментальных исследований, проведенных сотрудниками кафедры архитектуры ННГАСУ в 2000–2021 гг., установлено, что данный тип ограждений не соответствует нормативным требованиям по звукоизоляции в 95% случаев. Подобные результаты также приводятся в [6].

Для того чтобы повысить звукоизоляцию легких перегородок, применяются дополнительные каркасно-обшивные облицовки [7, 8] или бескаркасные облицовки [9] с одной или двух сторон ограждения. В [10] проведено сравнение эффективности данных решений. Применение вышеуказанных типов облицовок увеличивает толщину перегородок на 50–150%, что приводит к уменьшению полезной площади помещений. Поэтому актуальным вопросом для строительной акустики является разработка новых конструктивных решений легких перегородок и методов расчета их звукоизоляции. При этом повышение звукоизоляции ограждений должно обеспечиваться при относительно небольшом увеличении массы и толщины по сравнению с аналогами.

Целью научного исследования является разработка теоретического метода расчета звукоизоляции нового типа звукоизолирующего ограждения – легких перегородок с антирезонансными панелями [11, 12].

В [12] представлены результаты экспериментальных исследований звукоизоляции легких перегородок, которые показывают, что применение бескаркасных антирезонансных панелей позволяет повысить индекс изоляции воздушного шума данного типа ограждений на величину $\Delta R_w = 4–9$ дБ. На рис. 1 представлена схема конструктивного решения легкой перегородки с антирезонансной панелью [11].

Метод расчета звукоизоляции легких перегородок с антирезонансными панелями разработан на базе теории самосогласования волновых полей [13, 14] с учетом резонансного и инерционного прохождения звука. При этом рассматривается прямоугольное ограждение конечных геометрических размеров с шарнирным опиранием по контуру, установленное между помещением с источником шума (помещение высокого уровня, ПВУ) и защищаемым от шума помещением (помещение низкого уровня, ПНУ). Со стороны ПВУ на ограждение действует диффузное звуковое поле.

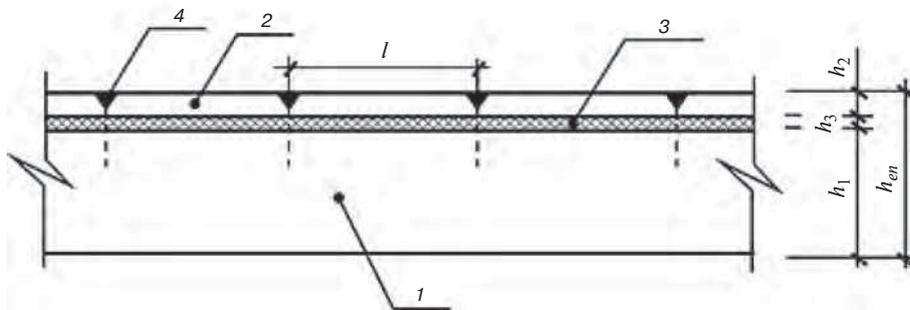


Рис. 1. Схема конструктивного решения легкой перегородки с антирезонансной панелью (общая толщина ограждения h_{en}): 1 – однослойная легкая перегородка (из пазогребневых гипсовых плит, монолитного гипсобетона, газосиликатных блоков) толщиной $h_1 = 60–100$ мм; 2 – антирезонансная панель (гипсоволокнистые листы (ГВЛ), гипскартонные листы (ГКЛ) толщиной $h_2 = 10–25$ мм; 3 – сплошной слой упругого материала (маты пенополиэтилена, полиэфинового волокна (ПЭВ)) толщиной $h_3 = 2–4$ мм; 4 – элементы крепления антирезонансной панели к однослойной легкой перегородке (стальные саморезы или дюбель-гвозди), установленные с шагом $l = 250–500$ мм

Fig. 1. Scheme of a constructive solution of a light partition with an anti-resonant panel (h_{en} – total thickness of the enclosure): 1 – single-layer light partition (tongue-and-groove gypsum slabs, monolithic gypsum concrete, gas silicate blocks) with a thickness of $h_1 = 60–100$ mm; 2 – anti-resonant panel (by gypsum fiber boards (GVL), гипскартонные листы (GKL) with a thickness of $h_2 = 10–25$ mm; 3 – solid layer of elastic material (mats made of polyethylene foam, polyester fiber (PEV)) with a thickness of $h_3 = 2–4$ mm; 4 – elements of fastening the anti-resonant panel to single-layer lightweight partition (steel self-tapping screws or dowel-nails) installed with a pitch of $l = 250–500$ mm

Расчет проводится в третьоктавных полосах частот. В исследовательских целях принят следующий расчетный диапазон: $f = 50–5000$ Гц, что шире нормируемого диапазона частот ($f = 100–3150$ Гц). Расчет включает в себя шесть этапов.

Этап № 1. Определение граничных частот областей резонансного прохождения звука через ограждение. Граничная частота области неполных пространственных резонансов (НПР) для однослойной легкой перегородки (ОЛП) определяется по формуле [13]:

$$f_{bmn0} = \frac{c_0 \sqrt{a^2 + 4b^2}}{4ab} + \Delta f_{bmn0}, \quad (1)$$

где c_0 – скорость звука в воздухе, м/с; a , b – длина и высота ограждения соответственно, м; Δf_{bmn0} – положительная по знаку поправка до ближайшей большей частоты собственных колебаний ограждения, Гц.

Граничные частоты областей полных пространственных резонансов (ППР) для однослойной легкой перегородки (ОЛП) и для антирезонансной панели (АРП) определяются по формуле [13]:

$$f_{bmn} = \frac{c_0^2 \sqrt{\mu}}{2\pi \sqrt{D}}, \quad (2)$$

где c_0 – скорость звука в воздухе, м/с; μ – поверхностная плотность ограждения, кг/м²; D – цилиндрическая жесткость ограждения, Па·м³.

Частота колебаний антирезонансной панели на упругом основании определяется по известной формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E_3}{h_3 \mu_2}}, \quad (3)$$

где E_3 – модуль упругости материала упругого слоя, Па; h_3 – толщина упругого слоя, м; μ_2 – поверхностная плотность антирезонансной панели, кг/м².

Этап № 2. Расчет коэффициентов прохождения звука через ограждение в отдельных диапазонах частот. Диапазон частот № 1 ($f = f_{1Н} - f_{1В}$). Нижняя граница данного диапазона соответствует нижней границе расчетного диапазона: $f_{1Н} = 50$ Гц. Верхняя граница диапазона определяется по выражению:

$$f_{1В} = f_0, \quad (4)$$

где f_0 – среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, в которой находится частота колебаний антивибрационной панели на упругом основании, Гц, см. формулу (3).

В данном диапазоне частот прохождение звука через ограждение определяется прохождением звука через однослойную легкую перегородку (ОЛП), влияние антивибрационной панели при этом незначительно. Коэффициент прохождения звука через ограждение определяется по формуле:

$$\tau = \tau_{r(ОЛП)} + \tau_{i(ОЛП)}, \quad (5)$$

где $\tau_{r(ОЛП)}$ – коэффициент резонансного прохождения звука через ОЛП; $\tau_{i(ОЛП)}$ – коэффициент инерционного прохождения звука через ОЛП.

1. В диапазоне частот № 1 расположены области простых пространственных резонансов (ПрПР) и неполных пространственных резонансов (НПР). Коэффициент резонансного прохождения звука через ОЛП определяется по формуле [13]:

$$\tau_r = \frac{1}{\frac{2,3 \cdot \pi}{\rho_0^2 c_0^2 \cdot A^4} \cdot \mu^2 f^2 \eta \cdot \cos \theta_m \cos \theta_{2r} + 1}, \quad (6)$$

где $\rho_0 c_0 = 420$ кг/(м²·с) – характеристический импеданс воздуха; A – характеристика самосогласования собственного волнового поля ограждения со звуковыми полями в ПВУ и в ПНУ; μ – поверхностная плотность ограждения, кг/м²; f – текущая частота звука, Гц; η – коэффициент потерь материала ограждения; $\theta_m = 51,76^\circ$ – средний угол падения волн диффузного звукового поля на ограждение со стороны ПВУ; θ_{2r} – угол излучения собственными волнами в ПНУ, град.

Коэффициент инерционного прохождения звука через ОЛП определяется по формуле [13]:

$$\tau_i = \frac{1}{\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2 \cdot F_i^2} \cdot \mu^2 f^2 \cos \theta_m \cdot \cos \theta_{2i} + 1}, \quad (7)$$

где $\rho_0 c_0 = 420$ кг/(м²·с) – характеристический импеданс воздуха; F_i – функция отклика ограждения; μ – поверхностная плотность ограждения, кг/м²; f – текущая частота звука, Гц; $\theta_m = 51,76^\circ$ – средний угол падения волн диффузного звукового поля на ограждение со стороны ПВУ; θ_{2i} – угол излучения инерционными волнами в ПНУ, град.

2. Диапазон частот № 2 ($f = f_{2Н} - f_{2В}$). Нижняя граница данного диапазона соответствует среднегеометрической частоте третьоктавной полосы пропускания звука, следующей после верхней границы диапазона частот № 1. Верхняя граница данного диапазона определяется по выражению:

$$f_{2В} = 0,5 f_{bmn(АРП)} - 2\Delta f, \quad (8)$$

где $f_{bmn(АРП)}$ – среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, в которой находится граничная частота области ППР для АРП, Гц; Δf – ширина третьоктавной полосы пропускания звука, Гц.

В диапазоне частот № 2 прохождение звука через ограждение определяется инерционным прохождением звука через однослойную легкую перегородку (ОЛП), а также резонансным прохождением звука через антивибрационную панель (АРП). Колебания АРП обеспечивают эффективное снижение резонансного прохождения звука в диапазоне НПР ($f_0 < f < f_{bmn(АРП)}$), где длина падающей звуковой волны в воздухе больше, чем длина изгибающей волны в АРП. Это приводит к возникновению эффекта «акустического короткого замыкания» (англ. short circuit [15]). Его физическое объяснение заключается в следующем [16, § 11]: «...вблизи плиты образуется лишь ближнее звуковое поле, связанное с периодической «перекачкой» энергии из участка среды, прилегающего к одной полуволне колеблющейся плиты, в участок среды, прилегающий к соседней полуволне, и обратно. Таким образом, энергия, отданная среде, не уносится звуковой волной, а остается «связанной» с плитой в виде кинетической энергии присоединенной к плите массы некоторого объема среды». В данном диапазоне частот коэффициент прохождения звука через ограждение определяется по формуле:

$$\tau = \tau_{i(ОЛП)} + \tau_{r(АРП)}, \quad (9)$$

где $\tau_{i(ОЛП)}$ – коэффициент инерционного прохождения звука через ОЛП (см. формулу (7)); $\tau_{r(АРП)}$ – коэффициент резонансного прохождения звука через АРП, см. формулу (6).

3. Диапазон частот № 3 ($f = f_{3Н} - f_{3В}$). Нижняя граница данного диапазона соответствует среднегеометрической частоте третьоктавной полосы пропускания звука, следующей после верхней границы диапазона частот № 2. Верхняя граница данного диапазона соответствует верхней границе области НПР для антивибрационной панели:

$$f_{3В} = f_{bmn(АРП)} - \Delta f, \quad (10)$$

где $f_{bmn(АРП)}$ – среднегеометрическая частота третьоктавной полосы, в которой находится граничная частота области ППР для АРП, Гц; Δf – ширина третьоктавной полосы пропускания звука, Гц.

В данном диапазоне частот прохождение звука через ограждение определяется только инерционным прохождением звука через однослойную легкую перегородку (ОЛП). В диапазоне частот № 3 колебания антирезонансной панели (АРП) обеспечивают наиболее эффективное снижение резонансного прохождение звука через ограждение. Коэффициент прохождение звука через ограждение определяется по формуле:

$$\tau = \tau_{i(\text{ОЛП})}, \quad (11)$$

где $\tau_{i(\text{ОЛП})}$ – коэффициент инерционного прохождение звука через ОЛП, см. формулу (7).

4. Диапазон частот № 4 ($f = f_{4Н} - f_{4В}$). Нижняя граница данного диапазона соответствует среднегеометрической частоте третьоктавной полосы пропускания звука, следующей после верхней границы диапазона частот № 3. Верхняя граница данного диапазона соответствует верхней границе расчетного диапазона частот ($f_{4В} = 5000$ Гц).

В данном диапазоне частот прохождение звука через ограждение определяется резонансным и инерционным прохождением звука через однослойную легкую перегородку (ОЛП). Здесь на резонансное прохождение звука оказывает влияние излучение звука однослойной легкой перегородкой и антирезонансной панелью (АРП). Антирезонансная панель в данном случае неэффективна, так как этот диапазон для нее является областью ППР с наибольшим излучением звука (длина падающей звуковой волны в воздухе меньше, чем длина изгибной волны в АРП). Коэффициент прохождение звука через ограждение определяется по формуле:

$$\tau = \tau_{r(\text{ОЛП})} (s_{mn(\text{ОЛП})} + s_{mn(\text{АРП})}) + \tau_{i(\text{ОЛП})}, \quad (12)$$

где $\tau_{r(\text{ОЛП})}$ – коэффициент резонансного прохождение звука через ОЛП; $s_{mn(\text{ОЛП})}$ – коэффициент излучения звука для ОЛП; $s_{mn(\text{АРП})}$ – коэффициент излучения звука для АРП; $\tau_{i(\text{ОЛП})}$ – коэффициент инерционного прохождение звука через ОЛП, см. формулу (7).

В диапазоне частот № 4 расположены области простых пространственных резонансов (ППР). Коэффициент резонансного прохождение звука через ОЛП определяется по формуле [13]:

$$\tau_r = \frac{1}{\frac{8\pi}{\rho_0 c_0^2} \cdot \frac{f^3}{f_{bmn}} \cdot \mu^2 \eta \cos \theta_m \cos \theta_{2r} + 1}, \quad (13)$$

где $\rho_0 c_0 = 420$ кг/(м²·с) – характеристический импеданс воздуха; μ – поверхностная плотность ограждения, кг/м²; f – текущая частота звука, Гц; η – коэффициент потерь материала ограждения; $\theta_m = 51,76^\circ$ – средний угол падения волн диффузного звукового поля на ограждение со стороны ПВУ; θ_{2r} – угол излучения

собственными волнами в ПНУ, град; f_{bmn} – граничная частота области ППР, Гц.

Коэффициент излучения звука для ограждения в области ППР определяется по формуле [14]:

$$s_{mn} = \frac{1}{\Delta f} \left(f_1 \sqrt{1 - \frac{f_{bmn}}{f_1}} - f_2 \sqrt{1 - \frac{f_{bmn}}{f_2}} \right), \quad (14)$$

где Δf – ширина полосы пропускания звука, Гц; f_1 и f_2 – верхняя и нижняя частоты полосы пропускания звука соответственно, Гц; f_{bmn} – граничная частота области ППР, Гц.

Этап № 3. Расчет звукоизоляции ограждения.

1. В областях резонансного прохождение звука ПРПР и НПР звукоизоляция ограждения определяется по известной формуле:

$$R = 10 \lg \left(\frac{1}{\tau} \right), \quad (15)$$

где τ – коэффициент прохождение звука через ограждение в соответствующем диапазоне частот, см. формулы (5), (9), (11), (12).

2. В области резонансного прохождение звука ППР звукоизоляция ограждения определяется по формуле [16]:

$$R = 10 \lg \left(\frac{1}{\tau_r s_{mn} + \tau_i} \right), \quad (16)$$

где τ_r – коэффициент резонансного прохождение звука через ограждение (см. формулу (13)); s_{mn} – коэффициент излучения звука, осредненный по полосе пропускания звука, см. формулу (14); τ_i – коэффициент инерционного прохождение звука через ограждение, см. формулу (7).

По результатам проведенного расчета строится частотная характеристика звукоизоляции ограждения. На рис. 1 приведен пример для легкой перегородки из монолитного гипсобетона с антирезонансной панелью из гипсоволокнистых листов (ГВЛ) в сравнении с результатами натуральных экспериментальных исследований, проведенных в жилом доме Нижнего Новгорода.

На рис. 2 стрелками показаны верхние границы расчетных диапазонов частот ($f_{1В}, f_{2В}, f_{3В}$); граничные частоты областей резонансного прохождение звука через ограждение: для области НПР (f_{bmn0}), для области ППР ($f_{bmn(\text{ОЛП})}, f_{bmn(\text{АРП})}$), а также частота колебаний антирезонансной панели на упругом основании (f_0).

Ниже дан анализ результатов, представленных на рис. 2:

1. Сравнение частотных характеристик 1 и 2 показывает, что применение антирезонансных панелей позволило значительно повысить звукоизоляцию легкой перегородки из монолитного гипсобетона в широком диапазоне средних и высоких частот ($f = 250 - 5000$ Гц).

2. Сравнение частотных характеристик 2 и 3 показывает, что разработанный метод расчета обеспе-

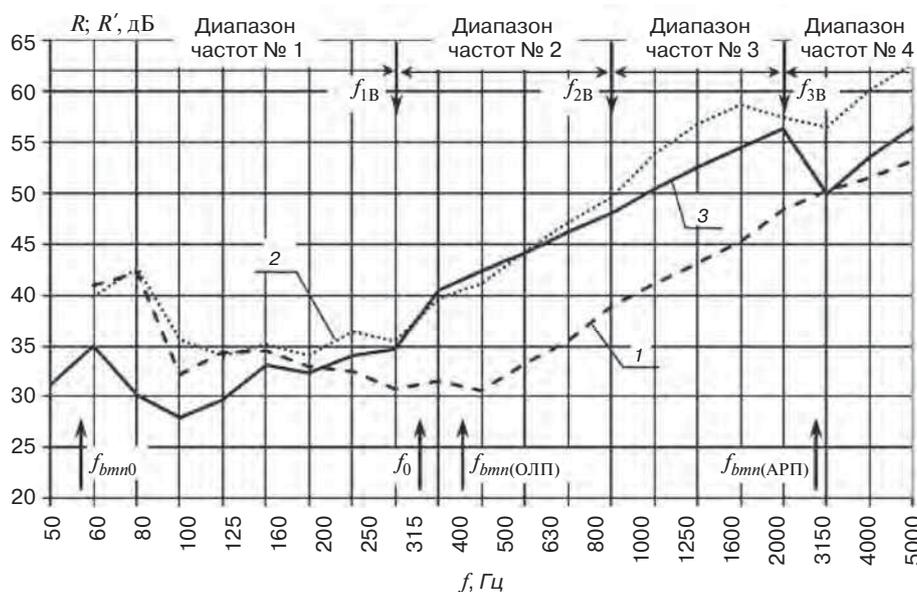


Рис. 2. Частотные характеристики звукоизоляции легкой перегородки из монолитного гипсобетона ($h_1=70$ мм, $a \times b = 3,9 \times 2,5$ м): 1 – натурный эксперимент в исходном состоянии (без антирезонансной панели); 2 – натурный эксперимент с антирезонансной панелью из гипсоволокнистых листов ($h_2=12,5$ мм), упругий слой из матов ПЭВ ($h_3=4$ мм); 3 – теоретический расчет по разработанному методу

Fig. 2. Frequency characteristics of sound insulation of a lightweight partition by monolithic gypsum concrete ($h_1=70$ mm, $a \times b = 3.9 \times 2.5$ m): 1 – a full-scale experiment in the initial state (without anti-resonant panel); 2 – a full-scale experiment with an anti-resonant panel made of gypsum fiber boards ($h_2=12.5$ mm), an elastic layer of polyester fiber mats ($h_3=4$ mm); 3 – theoretical calculation according to the developed method

чивает следующую сходимость теоретических и экспериментальных результатов:

- в диапазоне средних и высоких частот ($f=160$ – 1000 Гц; 2500 Гц) установлена хорошая сходимость результатов (разница значений не превышает 2 дБ);

- в диапазоне низких и высоких частот ($f=63$ Гц; 125 Гц; 1250 – 2000 Гц) установлена удовлетворительная сходимость результатов (разница значений не превышает 5 дБ);

- в диапазоне низких и высоких частот ($f=80$ Гц; 100 Гц; 3150 – 5000 Гц) сходимость результатов отсутствует (разница значений превышает 5 дБ).

Этап № 4. Расчет индекса изоляции воздушного шума для ограждения. Расчет проводится в соответствии с требованиями СП 51.13330 «Защита от шума» с учетом изм. № 1. Для рассматриваемой легкой перегородки из монолитного гипсобетона с антирезонансной панелью из ГВЛ получены следующие результаты:

1. Индекс изоляции воздушного шума для легкой перегородки в исходном состоянии без антирезонансной панели (см. рис. 2, график 1): $R_{wэксп}=38$ дБ.

2. Индекс изоляции воздушного шума для легкой перегородки с антирезонансной панелью (см. рис. 2, график 2): $R_{wэксп}=47$ дБ.

3. Индекс изоляции воздушного шума для легкой перегородки с антирезонансной панелью (см. рис. 2, график 3): $R_{wтеор}=46$ дБ.

4. Повышение индекса изоляции воздушного шума для ограждения за счет применения антирезонансной панели: $\Delta R_w=47-38$ дБ=9 дБ.

5. Разница значений индексов изоляции воздушного шума для ограждения, полученных по результатам натурного эксперимента и теоретического расчета: $\Delta R_w=47-46$ дБ=1 дБ.

Этап № 5. Сравнение расчетных данных с нормативными требованиями. Сравнение проводится в соответствии с требованиями СП 51.13330 «Защита от шума», с учетом изм. № 1. Для рассматриваемой легкой перегородки из монолитного гипсобетона с антирезонансной панелью из ГВЛ получены следующие результаты:

1. Для легкой перегородки в исходном состоянии, без антирезонансной панели: $R_{wэксп}=38$ дБ < $R_{wтреб}=43$ дБ. Данное ограждение не удовлетворяет нормативным требованиям по звукоизоляции для перегородок между комнатами жилых квартир, между кухней и комнатой в квартире.

2. Для легкой перегородки с антирезонансной панелью: $R_{wтеор}=46$ дБ > $R_{wтреб}=43$ дБ. Данное ограждение удовлетворяет нормативным требованиям по звукоизоляции для перегородок между комнатами жилых квартир, между кухней и комнатой в квартире.

Проведенное сравнение показывает, что применение антирезонансной панели позволило обеспечить выполнение нормативных требований по звукоизоляции легкой перегородки.

Этап № 6. Оценка рациональности конструктивного решения звукоизолирующего ограждения по сравнению с аналогами. Оценка проводится по двум критериям рациональности – общая поверхностная плотность ограждения (μ , кг/м²) и его общая толщина ($h_{ен}$, мм). Результаты оценки легкой перегородки из монолитного гипсобетона с антирезонансными панелями из гипсоволокнистых листов (ГВЛ) по сравнению с двумя ограждениями-аналогами приведены в таблице. Анализ представленных данных показывает, что легкая перегородка с антирезонансными панелями обладает рациональным конструктивным решением:

- общая поверхностная плотность рассмотренного ограждения ниже, чем у ограждений-аналогов, на 32 и 5% соответственно;

Оценка рациональности конструктивного решения звукоизолирующего ограждения по сравнению с аналогами
Assessment of the rationality of a constructive solution of sound-insulating enclosure in comparison with analogues

Наименование ограждения	Общая поверхностная плотность ограждения μ , кг/м ²	Общая толщина ограждения $h_{\text{ен}}$, мм
Легкая перегородка из монолитного гипсобетона ($h_1 = 70$ мм) с бескаркасной звукоизолирующей облицовкой «ЗИПС-Вектор» ($h_{\text{облицовки}} = 53$ мм)	92,2	123
Легкая перегородка из монолитного гипсобетона ($h_1 = 70$ мм) с каркасно-обшивной звукоизолирующей облицовкой из ГВЛ толщиной 12,5 мм, с креплением по каркасу, с откосом от перегородки 50 мм ($h_{\text{облицовки}} = 62,5$ мм)	73,6	132,5
Легкая перегородка из монолитного гипсобетона ($h_1 = 70$ мм) с бескаркасной антирезонансной панелью из ГВЛ толщиной 12,5 мм, с упругим слоем из матов ПЭВ толщиной 4 мм ($h_{\text{облицовки}} = 16,5$ мм)	70,1	86,5

– общая толщина рассмотренного ограждения меньше, чем у ограждений-аналогов, на 42 и 53% соответственно.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. На базе теории самосогласования волновых полей разработан метод расчета звукоизоляции нового типа звукоизолирующего ограждения – легких перегородок с бескаркасными антирезонансными панелями [11].

2. Метод расчета позволяет учитывать резонансное и инерционное прохождение звука в диапазоне низких, средних и высоких частот ($f = 50\text{--}5000$ Гц).

3. На примере легкой перегородки из монолитного гипсобетона проведено сравнение результатов теоретического расчета по разработанному методу с результатами натуральных экспериментальных измерений в жилом доме. Установлено, что метод рас-

чета обеспечивает хорошую сходимость результатов (разница значений не превышает 2 дБ) в широком диапазоне средних и высоких частот ($f = 160\text{--}1000$ Гц; 2500 Гц). Разница значений индексов изоляции воздушного шума составила 1 дБ;

4) на примере легкой перегородки из монолитного гипсобетона проведена оценка рациональности конструктивного решения нового типа звукоизолирующего ограждения по сравнению с аналогами. Установлено, что применение антирезонансных панелей позволяет уменьшить общую поверхностную плотность ограждения на 5–32% и уменьшить общую толщину ограждения на 42–53% по сравнению с ограждениями-аналогами.

В дальнейшем планируется продолжение исследований звукоизолирующих свойств легких перегородок с антирезонансными панелями с целью повышения точности метода расчета звукоизоляции в диапазонах низких и высоких частот.

Список литературы

- Ильин Д.С. Шумовое загрязнение урбанизированной среды. *Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды: Сборник материалов всероссийской школы-семинара, посвященной памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка*. Пермь, 2021. С. 214–215.
- Саврасова Н.А., Агапов А.Д., Саврасова Е.Е. Проблема увеличения шумового загрязнения окружающей среды. *Сборник статей III Международного научно-исследовательского конкурса*. Петрозаводск, 2020. С. 259–268.
- Кочкин А.А., Иванова А.В. Снижение шума в помещениях при эксплуатации и реконструкции зданий // *Вестник Вологодского государственного университета. Сер.: Технические науки*. 2021. № 2. С. 67–69.
- Ovsyannikov S.N., Leliuga O.V., Gradov V.A. Calculation model of sound and vibration propagation in a building fragment based on the method of statistical energy analysis. *IOP Conference Series*:

References

- Il'in D.S. Noise pollution of the urbanized environment. *Environmental safety in the conditions of anthropogenic transformation of the natural environment: Collection of materials of the all-Russian school-seminar dedicated to the memory of N.F. Reimers and F.R. Shtilmark*. Permian. 2021, pp. 214–215. (In Russian).
- Savrasova N.A., Agapov A.D., Savrasova E.E. The problem of increasing noise pollution of the environment. *Collection of articles of the III International Research Competition*. Petrozavodsk. 2020, pp. 259–268. (In Russian).
- Kochkin A.A., Ivanova A.V. Reducing noise in rooms during the operation and reconstruction of buildings. *Vestnik Vologodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. 2021. No. 2, pp. 67–69. (In Russian).
- Ovsyannikov S.N., Leliuga O.V., Gradov V.A. Calculation model of sound and vibration propagation in a building fragment based on the method of statistical energy analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019"*. 2020. No. 042006.

- Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference «FarEastCon 2019»*. 2020. No. 042006.
5. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Шубин И.Л. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2020. 274 с. DOI: 10.23681/574372
 6. Крышов С.И. Проблемы звукоизоляции строящихся зданий // *Жилищное строительство*. 2017. № 6. С. 8–10.
 7. Кочкин Н.А., Шубин И.Л., Кочкин А.А. Влияние конструкции гибкой плиты на отношение на повышение звукоизоляции существующих ограждений // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 14–18.
 8. Кочкин Н.А., Шубин И.Л., Кочкин А.А. Исследование повышения звукоизоляции существующих ограждений с использованием слоистых вибродемпфированных элементов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2019. № 3. С. 215–219.
 9. Боганик А.Г. Эффективные конструкции для дополнительной звукоизоляции помещений // *Строительные материалы*. 2004. № 10. С. 18–19.
 10. Герасимов А.И., Васильев М.Д., Рудь Н.С. Оценка эффективности дополнительной звукоизоляции (приставных оболочек) основных конструкций стен и перегородок // *Noise Theory and Practice*. 2020. Т. 6. № 4. С. 33–41.
 11. Патент РФ 155100. *Звукоизолирующее ограждение* / Бобылев В.Н., Гребнев П.А., Мониц Д.В., Тишков В.А. Заявл. 05.06.2014. Опубл. 27.08.2015. Патент передан по лицензионному договору ООО «Акустик Групп», дата внесения записи в Госреестр 04.04.2016.
 12. Бобылев В.Н., Тишков В.А., Мониц Д.В., Гребнев П.А. Звукоизоляция однослойных перегородок из гипсовых материалов // *Бюллетень строительной техники*. 2017. № 6. С. 20–22.
 13. Седов М.С. Звукоизоляция. В кн.: *Техническая акустика транспортных машин: Справочник* / Под ред. Н.И. Иванова. СПб.: Политехника, 1992. С. 68–105.
 14. Sedov M.S. Analysis and calculation of noise insulation by light enclosures. *Proceedings of International Noise and Vibration Control Conference «Noise-93»*. Edited by M.J. Crocker and N.I. Ivanov. Vol. 3. St. Petersburg. 1993, pp. 111–116.
 15. Cremer L., Heckl M., Petersson B. *Structure-Borne Sound. Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 2005. 607 p.
 16. Заборов В.И. *Теория звукоизоляции ограждающих конструкций*. М.: Стройиздат, 1969. 185 с.
 5. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Shubin I.L. *Raschety shuma pri proektirovani shumozashchity v proizvodstvennykh zdaniyakh* [Calculations of noise in the design of noise protection in industrial buildings]. Moscow, Berlin: Direkt-Media. 2020. 274 p. DOI: 10.23681/574372
 6. Kryshov S.I. *Problems of sound insulation of buildings under construction. Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Constructions]. 2017. No. 6, pp. 8–10. (In Russian).
 7. Kochkin N.A., Shubin I.L., Kochkin A.A. Influence of the flexible slab design on the relative to increase of sound insulation of existing enclosures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Constructions]. 2020. No. 7, pp. 14–18. (In Russian).
 8. Kochkin N.A., Shubin I.L., Kochkin A.A. Study of improving of sound insulation of existing enclosures using layered vibration-damped elements. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2019. No. 3, pp. 215–219. (In Russian).
 9. Boganic A.G. Effective structures for additional sound insulation of premises. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 10, pp. 18–19. (In Russian).
 10. Gerasimov A.I., Vasil'ev M.D., Rud' N.S. Evaluation of the effectiveness of additional sound insulation (attachment shells) of the main structures of walls and partitions. *Noise Theory and Practice*. 2020. Vol. 6. No. 4, pp. 33–41. (In Russian).
 11. Patent RF 155100. *Zvukoizoliruyushchee ograzhdenie* [Sound-insulating enclosure]. Bobylev V.N., Grebnev P.A., Monich D.V., Tishkov V.A. Declared 05.06.2014. Published 27.08.2015. The patent was transferred under a license agreement to Acoustic Group Company, the date of entry into the state register 04.04.2016. (In Russian).
 12. Bobylev V.N., Tishkov V.A., Monich D.V., Grebnev P.A. *Zvukoizolyatsiya odnosloinykh peregorodok iz gipsovykh materialov. Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2017. No. 6, pp. 20–22. (In Russian).
 13. Sedov M.S. *Zvukoizolyatsiya. V kn.: Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin: spravochnik* [Sound insulation. In the book: Technical acoustics of transport vehicles: a handbook]. St. Petersburg: Politekhnik. 1992, pp. 68–105.
 14. Sedov M.S. Analysis and calculation of noise insulation by light enclosures. *Proceedings of International Noise and Vibration Control Conference «Noise-93»*. Edited by M.J. Crocker and N.I. Ivanov. Vol. 3. St. Petersburg. 1993, pp. 111–116.
 15. Cremer L., Heckl M., Petersson B. *Structure-Borne Sound. Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 2005. 607 p.
 16. Zaborov V.I. *Teoriya zvukoizolyatsii ograzhdayushchikh konstruktsii* [The theory of sound insulation of building enclosures]. Moscow: Stroyizdat. 1969. 185 p.

УДК 699.844.3

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-34-39>

С.Н. ОВСЯННИКОВ, д-р техн. наук (ovssn@tsuab.ru),
Т.С. БОЛЬШАНИНА, инженер (bolshaninats@gmail.com)

Томский государственный архитектурно-строительный университет (634003, г. Томск, Соляная пл., 2)

Статистическая энергетическая модель прохождения внешнего шума в помещения здания

Предлагается статистическая энергетическая модель прохождения внешнего шума в помещения здания, позволяющая оценить акустический режим в помещениях, обращенных на источник звука, и смежных с ними. Модель представляет собой совокупность путей резонансного и нерезонансного прохождения звука через светопрозрачные конструкции, воздухообменные устройства, через коридоры и проемы, соединяющие помещения в здании. Связанные помещения и ограждающие конструкции рассматриваются как замкнутая система, для которой можно записать систему уравнений энергетического баланса. Решение системы уравнений дает значения уровней акустической энергии в помещениях и уровни шума в них.

Ключевые слова: статистический энергетический анализ, звуковая мощность, энергия звука, уровни звукового давления, коэффициенты внутренних потерь и энергетической связи.

Для цитирования: Овсянников С.Н., Большанина Т.С. Статистическая энергетическая модель прохождения внешнего шума в помещения здания // *Жилищное строительство*. 2021. № 11. С. 34–39.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-34-39>

S.N. OVSYANNIKOV, Doctor of Sciences Engineering (ovssn@tsuab.ru), T.S. BOLSHANINA, Engineer (bolshaninats@gmail.com)
Russia, Tomsk, Tomsk State University of Architecture and Building (TSUAB)
(2, Solyanaya Square, Tomsk, 634003, Russian Federation)

Statistical Energy Model of the Passage of External Noise into the Premises of the Building

A statistical energy model of the passage of external noise into the premises of the building is proposed, which makes it possible to evaluate the acoustic regime in rooms facing the sound source and adjacent to them. The model is a set of resonant and non-resonant sound transmission paths through translucent structures, air exchange devices, through corridors and openings connecting rooms in the building. Connected rooms and enclosing structures are considered as a closed system, for which a system of energy balance equations can be written. Solving the system of equations gives the values of the acoustic energy levels in the premises and the noise levels in them.

Keywords: statistical energy analysis, sound power, sound energy, sound pressure levels, internal loss and energy coupling coefficients.

For citation: Ovsyannikov S.N., Bolshanina T.S. Statistical energy model of the passage of external noise into the premises of the building. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 11, pp. 34–39. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-34-39>

Расчет уровней шума в помещениях зданий, расположенных рядом с мощными источниками шума, является актуальной задачей. В качестве источников шума могут рассматриваться локальные, пространственные и линейные источники, которые могут создавать уровни шума перед фасадами зданий до 75 дБА. При этом даже в зданиях с шумозащитной планировкой в помещениях, удаленных от фасадов, обращенных на источник шума, могут возникать уровни, существенно превышающие допустимые значения по СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» и СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03–2003». Шум проникает в помещения через окна, воздухообменные элементы и затем через связанные помещения. Например, спальная комната,

обращенная во двор, акустически связана через коридор, кухню и проемы с пространством перед фасадом, обращенным на шумную магистраль. В других случаях буферным помещением является остекленная лоджия с проемом в жилую комнату.

В качестве методологической основы решения данного рода задач может быть использован метод статистического энергетического анализа (СЭА), разработанный для решения виброакустических задач распространения звука и вибрации в зданиях. Согласно СЭА расчетный фрагмент здания рассматривается как система, состоящая из элементов (подсистем), представляющих собой помещения и ограждающие их строительные конструкции. Каждая из подсистем должна обладать свойством диффузности звукового поля, т. е. в рассматриваемой полосе частот должно быть не менее десяти собственных

частот (форм, мод) колебаний в помещениях и не менее пяти мод изгибных колебаний в строительных конструкциях. Особенностью задач расчета прохождения внешнего шума является отсутствие как таковой подсистемы «внешний воздушный объем», поскольку во внешней среде отсутствуют ограждения, приводящие к отражению звука и формированию собственных колебаний. Тем не менее за цикл колебаний $1/\omega$, где ω – циклическая частота, перед фасадом здания можно оценить звуковую мощность W_o . Взаимодействие звуковой энергии внешней среды с конструкциями и помещениями зданий следует рассматривать через возбуждение изгибных колебаний ограждающих конструкций (стен, остекления окон) и через возбуждение колебаний в каналах открытых проемов, воздухообменных элементов и пр. Тогда ограждающие конструкции и помещения здания рассматриваются как замкнутая виброакустическая система, в которой можно моделировать распространение звуковой энергии методом СЭА.

Рассмотрим простейшую виброакустическую систему, состоящую из однослойного остекления, возбуждаемого внешним шумом, и замкнутого помещения за этим остеклением (рис. 1).

На рис. 1 изображено помещение объемом $V_I = A \cdot B \cdot C$, огражденное от внешней среды однослойным остеклением с размерами a и b , площадью S_o , толщиной h_1 и плотностью ρ_1 . На остекление со стороны источника звука в рассматриваемой полосе частот воздействует шум с интенсивностью I . Суммарная мощность W_A прямого и отраженного звука перед пластиной остекления площадью S_o может быть определена через звуковое давление:

$$W_A = I \cdot S_{np} = \frac{p^2 \cdot S_o}{\rho_o \cdot c_o}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где I – интенсивность звука, Вт/м²; p – звуковое давление в 2 м от фасада, Па; $\rho_o \cdot c_o \approx 410$ Н·с/м³ – акустическое сопротивление воздуха.

Преобразовав формулу (1) по измеренному или расчетному уровню звукового давления перед фасадом $L_{mep2м}$, можем определить значение звуковой мощности прямого и отраженного звука в 2 м от фасада:

$$W_A = \frac{p_o^2 \cdot S_o}{\rho_o \cdot c_o} \approx S_o \cdot 10^{0,1 \cdot L_{mep2м} - 12}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где $p_o = 2 \cdot 10^{-5}$ – звуковое давление, соответствующее порогу слышимости, Па.

Пластины остекления и помещение рассмотрим как замкнутую систему, состоящую из двух элементов, а потоками звуковой энергии обратно во внешнюю воздушную среду и в другие ограждающие помещения конструкции можно пренебречь.

Основываясь на известных соотношениях между подводимой мощностью и звуковым давлением [1–3], можем представить акустическую мощность, входящую в систему, состоящую из пластины остекления и воздушного объема:

$$W_1 = \frac{W_A}{8\pi} \approx S_o \cdot 10^{0,1 \cdot L_{mep2м} - 13,4}, \text{ Вт}. \quad (3)$$

Обозначим остекление – 1, а помещение – I . Акустическая мощность W_1 , падающая на пластину остекления извне, возбуждает в ней изгибные колебания; за цикл колебаний в ней накапливается энергия изгибных волн E_1^b ; в свою очередь, стеклянная пластина излучает звук в помещение, в котором создается энергия звука E_I^A . Две эти подсистемы взаимодействуют друг с другом с коэффициентами энергетической связи $\eta_{1,I}^{bA}$ и $\eta_{I,1}^{Ab}$. Часть энергии теряется на внутренние потери в стеклянной пластине с коэффициентом внутренних потерь при изгибных колебаниях η_1^b , часть энергии теряется на звукопоглощение в помещении с коэффициентом внутренних потерь η_I^A . Схема энергетической связи в системе представлена на рис. 2.

На рис. 2 внешняя среда представлена как формальный элемент системы с энергией внешней среды E_o^A , способный передавать энергию звука стеклянной пластине, а также непосредственно в помещение. Последний путь передачи энергии звука будем ис-

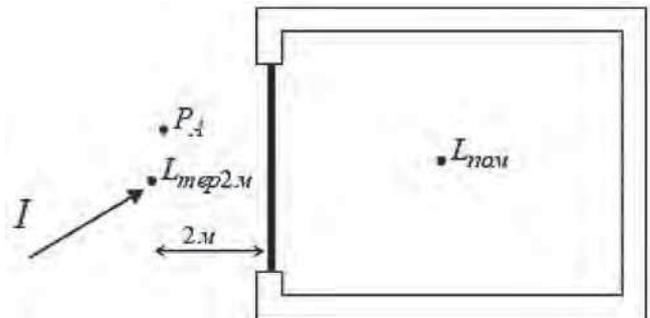


Рис. 1. Схема акустического воздействия внешней воздушной среды и помещения за однослойным остеклением

Fig. 1. Scheme of the acoustic effect of the external air environment and the room behind the single-layer glazing

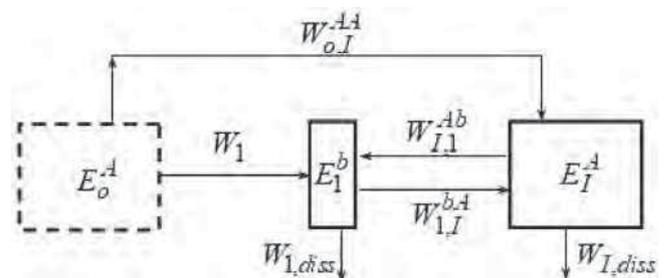


Рис. 2. Схема энергообмена между элементами системы: однослойная панель остекления – помещение

Fig. 2. Energy exchange scheme between system elements: single-layer glazing panel – room

пользовать для моделирования нерезонансной передачи звука через пластину остекления, а также для моделирования передачи звуковой энергии через отверстия, щели или воздухообменные устройства непосредственно из внешней среды в помещение. Поскольку внешняя среда имеет бесконечное значение звукопоглощения, то обратными потоками из помещения во внешнюю среду можно пренебречь.

Запишем уравнения энергетического баланса для каждой из двух подсистем за цикл колебаний $1/\omega$:

$$\frac{W_1}{\omega} = (\eta_1^b + \eta_{1,I}^{bA}) \cdot E_1^b - \eta_{1,I}^{Ab} \cdot E_I^A, \quad (4.1)$$

$$0 = (\eta_I^A + \eta_{1,I}^{Ab}) \cdot E_I^A - \eta_{1,I}^{bA} \cdot E_1^b - \eta_{o,I}^{AA} \cdot \frac{W_1}{\omega}, \quad (4.2)$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – циклическая частота, c^{-1} ; f – текущая частота (среднегеометрическая частота полосы), Гц.

Решение системы уравнений (4.1) и (4.2) представляет интерес относительно энергии звука в помещении E_I^A .

Из первого уравнения выразим:

$$E_1^b = \frac{1}{(\eta_1^b + \eta_{1,I}^{bA})} \left(\frac{W_1}{\omega} + \eta_{1,I}^{Ab} \cdot W_I^A \right). \quad (5)$$

Подставляя E_1^b во второе уравнение, получим:

$$E_I^A = \frac{W_1}{\omega} \cdot \frac{\eta_{1,I}^{bA} + \eta_{o,I}^{AA} \cdot (\eta_1^b + \eta_{1,I}^{bA})}{((\eta_I^A + \eta_{1,I}^{Ab}) \cdot (\eta_1^b + \eta_{1,I}^{bA}) - \eta_{1,I}^{bA} \cdot \eta_{1,I}^{Ab})}. \quad (6)$$

По величине звуковой энергии можем определить уровни звукового давления в октавных полосах частот:

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{E_I \cdot c_o}{E_o \cdot V_I}, \quad (7)$$

где $E_o = 10^{-12}$ – пороговое значение энергии; V_I – объем лоджии.

Основную сложность здесь представляет определение коэффициентов энергетической связи и коэффициентов внутренних потерь [1–6]. Сложность определения коэффициентов внутренних потерь становится выше при рассмотрении большого количества связанных помещений.

Внутренние потери энергии в конструкционных материалах предположим независимыми от типа распространяющейся волны $\eta_1^b = \eta_1^l = \eta_1^s$, а значения коэффициентов потерь конструкционных материалов будем принимать из эксперимента или из результатов других авторов.

Значение коэффициента внутренних потерь при изгибных колебаниях стеклянной пластины примем согласно исследованиям, описанным в [7] $\eta_1^b = 0,006$.

Коэффициент энергетической связи между панелью остекления и воздушным объемом помещения может быть найден по формуле Л. Кремера [1]:

$$\eta_{1,I}^{bA} = \frac{\rho_o \cdot c_o \cdot \sigma_1}{2\pi \cdot f \cdot \rho_1 \cdot h_1}, \quad (8)$$

где $\rho_o \cdot c_o \approx 410$ Н·с/м³ – акустическое сопротивление воздуха; ρ_1 и h_1 – объемная масса и толщина конструкции (остекления), м; σ_1 – коэффициент излучения.

Коэффициент излучения панели остекления определим по формулам [4] в зависимости от соотношения текущей f и критической частоты f_c :

$$\sigma_1 = \frac{U \cdot c_o}{4\pi^2 \cdot f^{1/2} \cdot f_c^{1/2} \cdot S_1 \cdot (\mu^2 - 1)^{1/2}} \cdot \left[\ln \left(\frac{\mu + 1}{\mu - 1} \right) + \frac{2\mu}{\mu^2 - 1} \right] \quad \text{при } f < f_c; \quad (9.1)$$

$$\sigma_1 = \left(\frac{2\pi f}{c_o} \right)^{1/2} \cdot l_x \cdot \left[0,5 - 0,15 \cdot \frac{l_x}{l_y} \right] \quad \text{при } f = f_c; \quad (9.2)$$

$$\sigma_1 = \left(1 - \frac{f_c}{f} \right) \quad \text{при } f > f_c, \quad (9.3)$$

где U – периметр излучающей панели остекления, м; $\mu = (f_c/f)^{1/2}$ – коэффициент, учитывающий отношение критической частоты к текущей; f – текущая частота (среднегеометрическая частота полосы), Гц; f_c – критическая частота, Гц; l_x , l_y – длина и ширина рассматриваемой панели остекления, м; $c_o = 344$ м/с – скорость звука в воздухе.

Критическую частоту пластины конечных размеров определяем по формуле:

$$f_c = \frac{\sqrt{3} \cdot c_o^2}{\pi \cdot h_1 \cdot c_l}, \quad (10)$$

где c_o , h_1 – то же, что и в формулах (8) и (10); c_l – скорость продольных волн в пластине остекления.

Коэффициент энергетической связи от воздушно-го объема в панели остекления $\eta_{1,I}^{Ab}$ может быть найден через обратный коэффициент $\eta_{1,I}^{bA}$, определяемый по формуле:

$$\eta_{1,I}^{Ab} \cdot n_I^A = \eta_{1,I}^{bA} \cdot n_1^b, \quad (11)$$

где n_I^A – плотность собственных форм колебаний (модальная плотность) в помещении I ; находим по формуле:

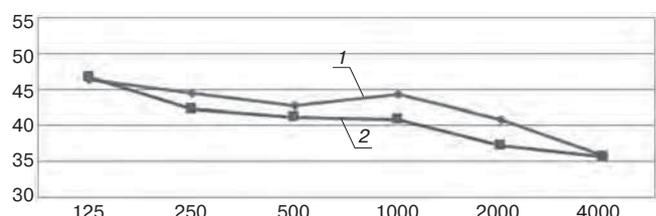


Рис. 3. Сравнение расчетных и измеренных уровней звукового давления на лоджии: 1 – измеренные значения; 2 – расчетные значения

Fig. 3. Comparison of calculated and measured sound pressure levels on the loggia: 1 – measured values; 2 – calculated values

Сравнение расчетных и измеренных уровней звукового давления на лоджии
Comparison of calculated and measured sound pressure levels on the loggia

Текущая частота, Гц	$L_{мер2н}$	Время реверберации в помещении лоджии (измеренные значения), с ⁻¹	Вводимая мощность прямого и отраженного звука в пластину остекления	Коэффициент излучения панели остекления по Лепинтону	Коэффициент внутренних потерь в остеклении	Коэффициент энергетической связи между панелями остекления и воздушным объемом помещения	Коэффициент энергетической связи от воздушного объема в панель остекления	Плотность собственных форм колебаний (модальная плотность) в помещении l	Плотность собственных форм изгибных колебаний в остеклении	Коэффициент внутренних потерь помещения	Коэффициент прохождения вины через стеклянную пластину по закону масс	Коэффициент энергетической связи внешней среды и объема лоджии	Энергия звука в помещении	Расчетная величина звуковой энергии в помещении, дБА	Измеренная величина звуковой энергии в помещении, дБА
f	$L_{мер2н}$	T_l	W_1	σ_1	η^b	$\eta_{l,1}^b$	$\eta_{l,1}^{Ab}$	$n_l^A(\omega)$	$n_l^b(\omega)$	n_l^A	τ	$\eta_{0,l}^{AA}$	E_l^A	L_l^p	$L_l^{изм}$
125	66,5	0,44	$4,93 \cdot 10^{-7}$	0,01173	0,006	0,00061	0,00314	3,57	0,01025	0,04	0,032	$10,9 \cdot 10^{-4}$	$1,1730 \cdot 10^{-9}$	46,6	46,4
250	62,6	0,58	$2,01 \cdot 10^{-7}$	0,01271	0,006	0,00033	0,000425	16,17	0,01025	0,0152	0,00802	$1,38 \cdot 10^{-4}$	$4,27 \cdot 10^{-10}$	42,2	44,4
500	62	0,48	$1,75 \cdot 10^{-7}$	0,0278	0,006	0,00036	0,000116	89,28	0,01025	0,0092	0,002	$1,72 \cdot 10^{-5}$	$33,9 \cdot 10^{-11}$	41,2	42,8
1000	63,9	0,54	$2,71 \cdot 10^{-7}$	0,0286	0,006	0,000187	0,000015	572,97	0,01025	0,0041	0,000501	$2,15 \cdot 10^{-6}$	$31,59 \cdot 10^{-11}$	40,9	44,3
2000	59,8	0,53	$1,05 \cdot 10^{-7}$	0,065	0,006	0,00021	0,0000043	4056,54	0,01025	0,0021	0,000126	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$13,42 \cdot 10^{-11}$	37,2	40,8
4000	48,1	0,55	$7 \cdot 10^{-9}$	1,973	0,006	0,00322	0,0000163	30419,18	0,01025	0,001	0,0000313	$3,4 \cdot 10^{-8}$	$96,4 \cdot 10^{-12}$	35,7	35,8

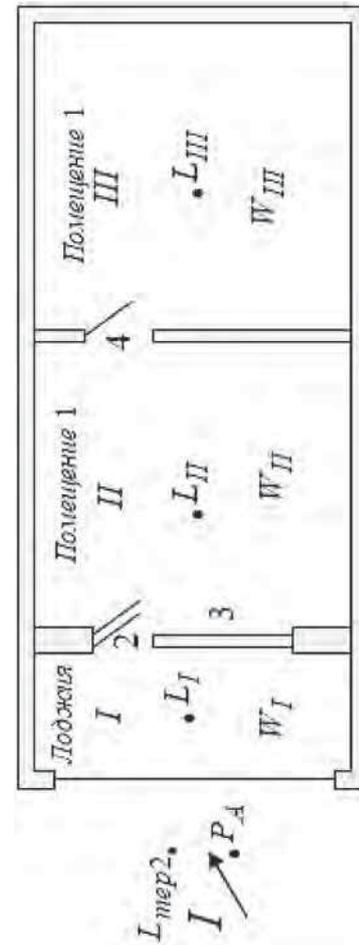


Рис. 4. Схема акустического воздействия внешней воздушной среды в трех помещениях
Fig. 4. Scheme of acoustic effects of the external air environment in three rooms

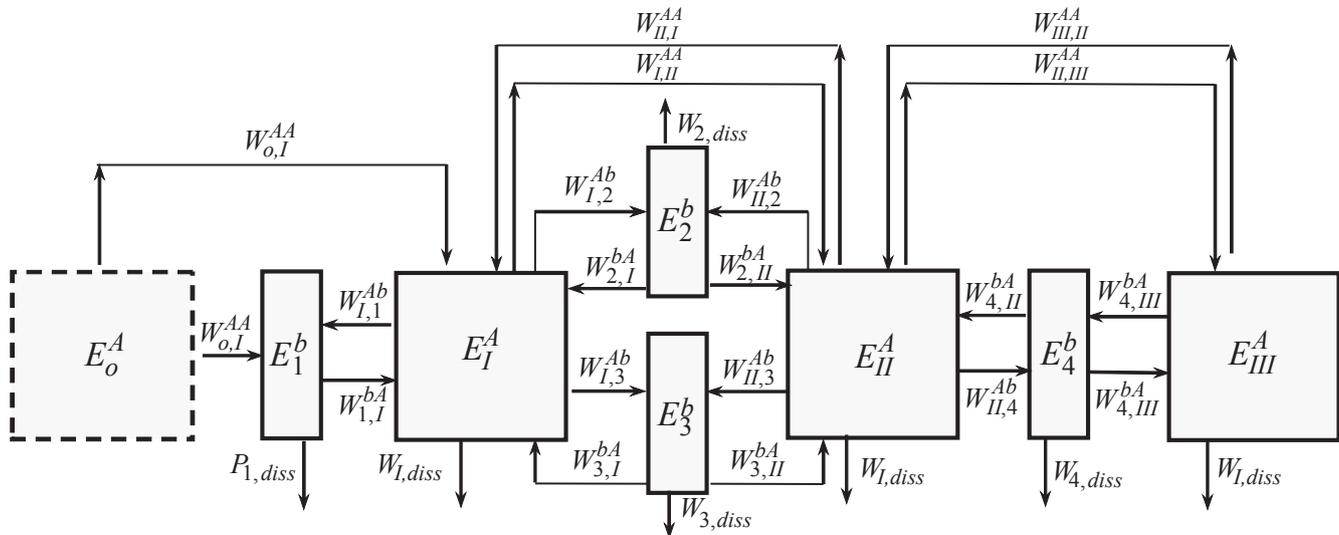


Рис. 5. Модель энергообмена между элементами системы, возбуждаемой внешним шумом
Fig. 5. A model of energy exchange among elements of a system excited by external noise

$$n_I^A(\omega) = \frac{2 \cdot V_I \cdot f^3}{c_0^3} + \frac{S \cdot f^2}{2c_0^2} + \frac{L \cdot f^2}{4\pi \cdot c_0}, \quad (12)$$

где V_I – объем помещения, м³; S – площадь всех поверхностей, м², определяемая как $S=2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c)$; L – сумма всех ребер помещения, м, определяемая как $L=4 \cdot (a+b+c)$; a, b, c – параметры панели остекления, м.

Плотность собственных форм изгибных колебаний в остеклении n_1^b [6] определяем по формуле:

$$n_1^b(\omega) = \frac{a \cdot b \cdot \sqrt{3}}{2\pi \cdot h_1 \cdot c_l}, \quad (13)$$

где a и b – высота и ширина однослойного остекления, м; h_1 – толщина однослойного остекления, м; c_l – скорость продольных волн в пластине остекления.

Коэффициент внутренних потерь помещения η_I^A можно определить в зависимости от реверберационных характеристик помещения по формуле:

$$\eta_I^A = \frac{2,2}{f \cdot T_I}, \quad (14)$$

где f – текущая частота (среднегеометрическая частота полосы), Гц; T_I – время реверберации в помещении, с⁻¹.

Коэффициент внутренних потерь помещения для соразмерных помещений с объемом до 1000 м³ может быть определен по формуле [5]:

$$\eta_I^A = 0,778 \cdot f^{-0,961}. \quad (15)$$

Коэффициент, учитывающий нерезонансное прохождение звуковой энергии остекления, а также через отверстия, щели или специальный воздухообменный элемент, определим по формуле Л. Кремера [1]:

$$\eta_{o,I}^{AA} = \frac{c_0 \cdot S \cdot \tau}{8\pi \cdot f \cdot V_I}, \quad (16)$$

где $c_0=344$ м/с – скорость звука в воздухе; τ – коэффициент прохождения звуковой энергии через конструкцию или другой элемент ограждения, $\tau=10^{-0,1 \cdot R}$; R – звукоизоляция элемента ограждения; f – текущая частота (среднегеометрическая частота полосы), Гц; V_I – объем помещения, м³.

Рассмотрим применение описанной методики на примере определения уровня звукового давления на лоджии L_I от внешнего шума, вызванного транспортным потоком. Лоджия остеклена на половину высоты, толщина остекления составляет 0,004 м. Параметры лоджии: ширина – 1,1 м; длина – 2,7 м и высота – 2,9 м. Схема энергетического обмена между подсистемами: внешний воздушный объем и пространством лоджии изображена на рис. 2.

Результаты расчетов и измерений занесены в таблицу. Сравнение расчетных и измеренных уровней звукового давления на лоджии представлены на рис. 3.

Для оценки точности расчетных результатов были выполнены измерения уровней звука в 2 м от остекления лоджии и на лоджии. Измерения уровней звука производили шумомерами ОКТАВА 101-А и ОКТАВА 110-А по ГОСТ 20444–2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики». Измеренные значения уровней звука записаны в таблице в графах 2 и 16. Экспериментально были определены значения времени реверберации с помощью шумомера Brüel&Kjaer 2250. Измеренные значения времени реверберации занесены в таблицу.

Как видим из решения данного примера, расчетные уровни шума в помещении лоджии доста-

точно близки к измеренным уровням шума и ниже на 1–2,5 дБ расчетных значений в области средних и высоких частот, что можно объяснить косвенными путями прохождения шума через отверстия и щели в конструкции остекления.

Для решения более сложной задачи расчета уровня звукового давления в системе связанных помещений квартиры за лоджией (рис. 4) воспользуемся схемой энергетического обмена на рис. 5.

Для помещений и конструкций на рис. 4 можно предложить модель распространения звука на основе теории статистического энергетического анализа (рис. 5).

На рис. 5 видим три акустические подсистемы (помещения) и четыре конструктивные подсистемы (окна и двери). Для них можем записать последовательно семь уравнений энергетического баланса относительно энергии в подсистемах:

$$\frac{W_1}{\omega} = (\eta_1^b + \eta_{1,I}^{bA}) \cdot E_1^b - \eta_{I,1}^{Ab} \cdot E_I^A, \quad (17.1)$$

$$0 = (\eta_I^A + \eta_{II,I}^{AA} + \eta_{I,1}^{Ab} + \eta_{I,2}^{Ab} + \eta_{I,3}^{Ab}) \cdot E_I^A - \eta_{II,I}^{AA} \cdot E_{II}^A - \eta_{1,I}^{bA} \cdot E_1^b - \eta_{2,I}^{bA} \cdot E_2^b - \eta_{3,I}^{bA} \cdot E_3^b, \quad (17.2)$$

$$0 = (\eta_2^b + \eta_{2,I}^{bA} + \eta_{2,II}^{bA}) \cdot E_2^b - \eta_{I,2}^{Ab} \cdot E_I^A - \eta_{II,2}^{Ab} \cdot E_{II}^A, \quad (17.3)$$

$$0 = (\eta_3^b + \eta_{3,I}^{bA} + \eta_{3,II}^{bA}) \cdot E_3^b - \eta_{I,3}^{Ab} \cdot E_I^A - \eta_{II,3}^{Ab} \cdot E_{II}^A, \quad (17.4)$$

$$0 = (\eta_{II}^A + \eta_{II,I}^{AA} + \eta_{II,III}^{AA} + \eta_{II,2}^{Ab} + \eta_{II,3}^{Ab} + \eta_{II,4}^{Ab}) \cdot E_{II}^A - \eta_{I,II}^{AA} \cdot E_I^A - \eta_{III,II}^{AA} \cdot E_{III}^A - \eta_{2,II}^{bA} \cdot E_2^b - \eta_{3,II}^{bA} \cdot E_3^b - \eta_{4,II}^{bA} \cdot E_4^b, \quad (17.5)$$

$$0 = (\eta_4^b + \eta_{4,II}^{bA}) \cdot E_4^b - \eta_{II,4}^{Ab} \cdot E_{II}^A, \quad (17.6)$$

$$0 = (\eta_{III}^A + \eta_{III,II}^{AA} + \eta_{III,4}^{Ab}) \cdot E_{III}^A - \eta_{II,III}^{AA} \cdot E_{II}^A - \eta_{4,III}^{bA} \cdot E_4^b. \quad (17.7)$$

Решение системы уравнений относительно неизвестных значений энергии в подсистемах, как и в первом примере, позволяет определить искомые энергии в помещениях I, II и III при заданных уровнях звукового давления в 2 м перед фасадом здания, а затем и уровни звукового давления в помещениях по формуле (7).

Список литературы

1. Cremer L., Heckl M., Ungar E. Structure-bone sound. Springer Verlag, 1973. 528 p.
2. Crocker M.J., Price F.J. Sound transmission using statistical energy analysis // *Journal of Sound and Vibration*. 1969. Vol. 9. No. 3, pp. 469–486.
3. Craik R.J.M. Sound transmission through buildings using statistical energy analysis. Gover, Hampshire. 1996. 280 p.
4. Leppington F.G., Broadbent E.G. and Heron K.H. The acoustic radiation efficiency of rectangular panels //

Proceedings of the Royal Society of London, A382. 1982. P. 45–71.

5. Овсянников С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях. Томск: Том. гос. архит.-строит. ун-т, 2000. 378 с.
6. Овсянников С.Н. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций зданий: Учебное пособие для бакалавров и магистров по направлениям «Архитектура» и «Строительство». Томск: Том. гос. архит.-строит. ун-т, 2020. 127 с.
7. Овсянников С.Н., Махмудов У.А., Лелюга О.В. Экспериментальные исследования упруго-диссипативных свойств конструкционных материалов и расчет звукоизоляции ограждающих конструкций на основе уточненных характеристик методом СЭА. *Избранные доклады 66-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых*. Томск, 2020. С. 336–343.

References

1. Cremer L., Heckl M., Ungar E. Structure-bone sound. Springer Verlag, 1973. 528 p.
2. Crocker M.J., Price F.J. Sound transmission using statistical energy analysis. *Journal of Sound and Vibration*. 1969. Vol. 9. No. 3, pp. 469–486.
3. Craik R.J.M. Sound transmission through buildings using statistical energy analysis. Gover, Hampshire. 1996. 280 p.
4. Leppington F.G., Broadbent E.G. and Heron K.H. The acoustic radiation efficiency of rectangular panels. *Proceedings of the Royal Society of London, A382*. 1982, pp. 45–71.
5. Ovsyannikov S.N. Rasprostraneniye zvukovoi vibratsii v grazhdanskikh zdaniyakh [Propagation of sound vibration in civil buildings]. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2000. 378 p.
6. Ovsyannikov S.N. Proektirovaniye zvukoizolyatsii ograzhdayushchikh konstruksii zdanii: uchebnoye posobie dlya bakalavrov i magistrrov po napravleniyam «Arkhitektura» i «Stroitel'stvo» [Designing sound insulation of building enclosing structures: a textbook for bachelors and masters in the areas of "Architecture" and "Construction"]. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. 127 p.
7. Ovsyannikov S.N., Makhmudov U.A., Lelyuga O.V. Experimental studies of elastic-dissipative properties of structural materials and calculation of sound insulation of enclosing structures based on refined characteristics by the SEA method. *Selected reports of the 66th University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists*. Tomsk. 2020, pp. 336–343. (In Russian).

УДК 621.45.038.74

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-40-45>

В.Н. КУПРИЯНОВ, д-р техн. наук (kuprivan@kgasu.ru)

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

К расчету величины солнечного фактора солнцезащитных устройств

Для защиты помещений зданий от избыточного тепла солнечной радиации используются солнцезащитные устройства различных типов. В нормативных документах приводится классификация солнцезащитных устройств по уровню солнцезащиты, от очень высокого уровня до низкого, что соответствует величинам солнечного фактора от 0–0,2 до 0,76–1. Однако метод определения величины солнечного фактора для солнцезащитных устройств различных типов до настоящего времени не разработан. Представлен метод определения величины солнечного фактора для солнцезащитных устройств жалюзийного типа. Метод основан на учете соотношений площадей облучения и затенения фасадов зданий солнцезащитными устройствами в разное время суток. Метод учитывает ориентацию фасада, часы суток, в которые происходит облучение, а следовательно, и величину солнечной энергии, конструктивное решение и геометрические параметры солнцезащитных устройств. Показано, что для конкретного конструктивного решения солнцезащитного устройства величина солнечного фактора изменяется при движении солнца по небосводу.

Ключевые слова: солнечная радиация, энергия облучения, площадь затенения, солнцезащитное устройство, солнечный фактор.

Для цитирования: Куприянов В.Н. К расчету величины солнечного фактора солнцезащитных устройств // *Жилищное строительство*. 2021. № 11. С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-40-45>

V.I. KUPRIYANOV, Doctor of Sciences (Engineering) (kuprivan@kgasu.ru)

Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

To the Calculation of the Magnitude of the Solar Factor of Sun-Protective Devices

To protect the premises of buildings from excessive heat of solar radiation sun-protective devices of various types are used. The regulatory documents classify sun-protective devices according to the level of sun protection: from a very high level to a low one, which corresponds to the values of the solar factor from 0–0.2 to 0.76–1. However, a method for determining the magnitude of the solar factor for sun-protective devices of various types has not yet been developed. This article presents a method for determining the magnitude of the solar factor for louver-type sun-protective devices. The method is based on taking into account the ratios of irradiation and shading areas of building facades with sun-protective devices at different times of the day. The method takes into account the orientation of the facade, the hours of the day during which irradiation occurs, and, consequently, the amount of solar energy, the design solution and geometric parameters of sun-protective devices. It is shown that for a specific design solution of a sun-protective device, the magnitude of the solar factor changes when the sun moves across the sky.

Keywords: solar radiation, irradiation energy, shading area, sun-protective device, solar factor.

For citation: Kupriyanov V.I. To the calculation of the magnitude of the solar factor of sun-protective devices. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 11, pp. 40–45. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-40-45>

Защита помещений зданий от перегрева при их облучении солнечной радиацией через световые проемы является обязательной для южных регионов, становится актуальной и для умеренных широт в связи с увеличением размеров светопроемов вплоть до светопрозрачных наружных ограждений.

Для решения этой задачи разработан ряд нормативных документов: ГОСТ Р 54863–2011 «Жалюзи и ставни. Определение дополнительного термического сопротивления»; ГОСТ 33125–2014 «Устройства солнцезащитные»; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076–01 «Гигиенические требования к инсоляции и солн-

цезащите помещений жилых и общественных зданий»; СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования». Некоторые рекомендации по солнцезащите приведены в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Так, в ГОСТ 33125–2014 приведена классификация солнцезащитных устройств (СЗУ) по величине солнечного фактора ($G_{СЗУ}$), который представляет собой отношение солнечной энергии, прошедшей через СЗУ, к солнечной энергии, приходящей к наружной поверхности СЗУ. Согласно этой классификации СЗУ подразделяются на четыре группы, от очень вы-

сокого уровня солнцезащиты с $G_{C3Y}=0-0,2$ до низкого уровня с $G_{C3Y}=0,76-1$.

В СП 370.1325800.2017 введено понятие «общий солнечный фактор» ($G_{\text{общ}}$), величина которого определяется произведением солнечного фактора СЗУ (G_{C3Y}) и солнечного фактора стеклопакета ($G_{СП}$):

$$G_{\text{общ}} = G_{C3Y} \cdot G_{СП}$$

В этом СП приведена классификация пяти уровней солнцезащиты по величине общего солнечного фактора, от очень высокого $G_{C3Y}=0-0,2$ до низкого уровня с $G_{C3Y}=0,81-1$.

Во всех перечисленных нормативных документах отмечается, что при проектировании солнцезащиты должно быть обеспечено нормируемое естественное освещение помещений.

Анализ нормативных документов позволил выявить ряд расхождений в требованиях к обеспечению солнцезащиты. Так, в СП 50 указывается, что СЗУ следует предусматривать в климатических районах, где среднемесячная температура июля равна 21°C и выше без учета ориентации светопроема. Там же приведены рекомендации по величине коэффициента теплопоступлений: $G_{C3Y}=0,2$ для жилых зданий и лечебно-профилактических учреждений и $G_{C3Y}=0,4$ для производственных зданий.

По СанПиНу солнцезащиты подлежат светопроемы западной и юго-западной ориентации, причем только для помещений определенного функционального назначения (жилые комнаты, учебные классы и т. п.), вне зависимости от температуры наружного воздуха в июле. В СанПиНе указывается также, что СЗУ проектируются в тех случаях, когда невозможно обеспечить солнцезащиту соответствующей планировкой и ориентацией зданий.

Введение в научный оборот перечисленных выше нормативных документов систематизировало проектирование солнцезащиты зданий, однако количественная оценка солнечного фактора СЗУ в этих документах не разработана. Без количественной оценки солнечного фактора G_{C3Y} проектирование солнцезащиты становится неопределенным и приобретает виртуальный характер.

В связи с изложенным **целью настоящей работы** является разработка метода определения величины солнечного фактора солнцезащитных устройств по типу жалюзи как наиболее распространенного конструктивного решения СЗУ.

В основу метода определения величины солнечного фактора солнцезащитных устройств G_{C3Y} положено сопоставление солнечной энергии, приходящей к наружной поверхности СЗУ, с солнечной энергией, прошедшей через СЗУ.

Расчет солнечной энергии, приходящей к СЗУ

Солнцезащитные устройства располагаются, как правило, в плоскости фасадов зданий, и в первом приближении могут быть использованы данные о прямой и рассеянной солнечной радиации, приведенные в СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика» для фасадов зданий, ориентированных по основным румбам.

Однако наружные ограждения зданий могут иметь различную ориентацию и наклон к горизонту, поэтому требуется универсальный метод, который позволит определять солнечную энергию, приходящую к любым поверхностям. Подобный метод расчета был апробирован при разработке энергетического метода расчета инсоляции жилых помещений [1] и получил развитие при расчете теплопоступлений в помещения через световые проемы [2].

Исходные данные для расчета приведены в Научно-прикладном справочнике по климату СССР [3] по прямой солнечной радиации на нормальную к лучам поверхность и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность в виде почасовых сумм тепла в $\text{МДж}/\text{м}^2$ по каждому месяцу года.

Интенсивность прямой солнечной радиации на поверхности любой ориентации и наклона определится по формуле:

$$S_{\text{ло}} = S_{\perp} \cdot \cos \theta, \quad (1)$$

где θ – угол между направлением солнечного луча и нормалью к поверхности, град; $\cos \theta$ определяется по следующим формулам [2]:

– для вертикальных поверхностей:

$$\cos \theta = \cos h_0 \cdot \cos (A_0 - A_H); \quad (2)$$

– для наклонных поверхностей с углом β к горизонту:

$$\cos \theta = \sin h_0 \cdot \cos \beta + \cos h_0 \cdot \sin \beta \cdot \cos (A_0 - A_H), \quad (3)$$

где h_0 – высота стояния солнца в данный час суток, град; $(A_0 - A_H)$ – угол между азимутом солнца в данный час суток и азимутом нормали к плоскости окна, град.

Схема к определению параметров формул (2) и (3) приведена на рис. 1, где показано, что азимут проекции солнечного луча на горизонтальную плоскость A_0 больше азимута к нормали остекления A_H , поэтому угол между ними определяется разностью $(A_0 - A_H)$. В другие часы суток может оказаться, что $A_H > A_0$; в этом случае угол между ними определяется разностью $(A_H - A_0)$.

Приход рассеянной радиации определяется частью рассеянной радиации, приходящей к горизонтальной поверхности Dr через коэффициент k :

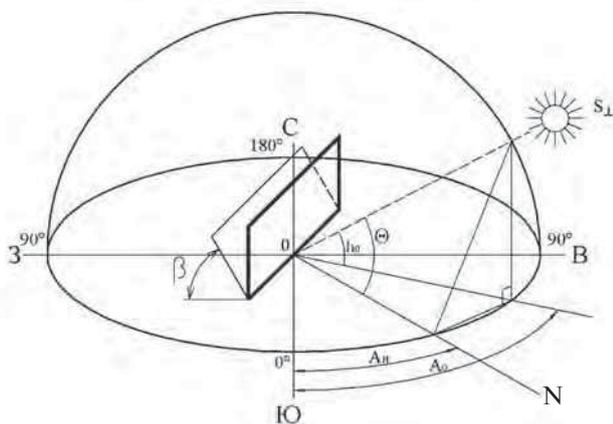


Рис. 1. Схема к определению угла θ : N – нормаль к поверхности остекления; β – угол наклона поверхности к горизонту; h_0 – высота стояния солнца

Fig. 1. Scheme for determining the angle θ : N – normal to the glazing surface; β – the angle of inclination of the surface to the horizon; h_0 – the height of the sun

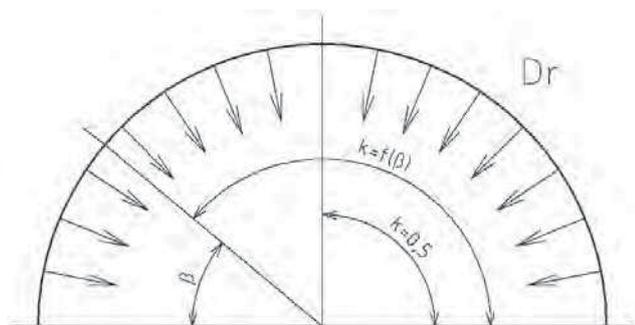


Рис. 2. Схема к определению коэффициента k (доли рассеянной радиации)

Fig. 2. Scheme for determining the coefficient k (fraction of scattered radiation)

$$D_{\text{ло}} = k \cdot Dr. \quad (4)$$

Схема определения коэффициента k представлена на рис. 2, откуда следует, что для вертикальных поверхностей $k=0,5$; для наклонных – долей единицы в зависимости от угла β (рис. 2).

К рассеянной радиации должна быть добавлена отраженная радиация от земли и соседних зданий. Однако, в силу недостаточности исследований по отраженной радиации, в данной работе она не рассматривается.

Количество тепла суммарной солнечной радиации, приходящей к облучаемой поверхности в течение часа, определяется суммой прямой и рассеянной радиации:

$$Q_{\text{при}} = S_{\perp} \cdot \cos \theta + k \cdot Dr. \quad (5)$$

Количество часов облучения и часы суток, в которые это облучение происходит, определяются ме-

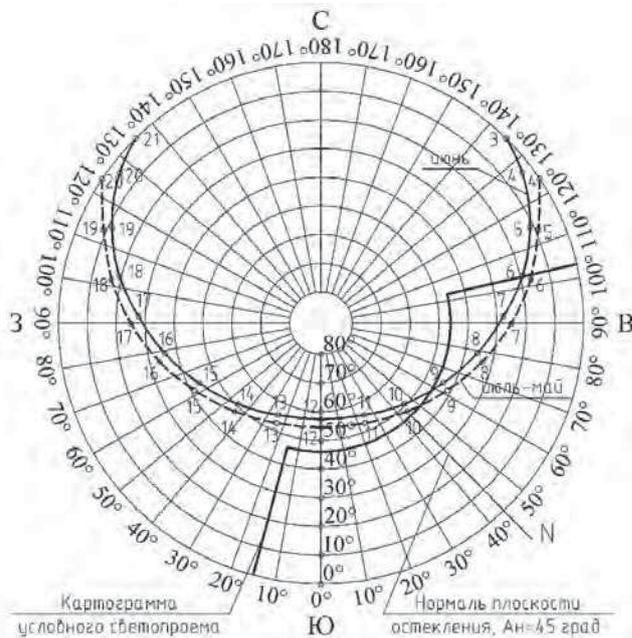


Рис. 3. Схема определения продолжительности инсоляции условного светопроема

Fig. 3. Scheme for determining the duration of insolation of a conditional light opening

тодами инсоляции светопроемов. Наиболее применимым методом является оценка продолжительности инсоляции с использованием картограмм светопроемов, наложенных на солнечную карту с траекторией движения солнца в заданный месяц.

На рис. 3 приведена солнечная карта для широты 56° с траекторией движения солнца в июне и июле–мае, а также картограмма условного светопроема, ориентированного на юго-восток.

Из рис. 3 видно, что для данного светопроема, расположенного вертикально и ориентированного на юго-восток (Ю-В), азимут нормали к плоскости остекления $A_n=45$ град, в июне солнечные лучи попадают в створ окна с 6 до 9 ч, т. е. $n=3$. То же окно в июле–мае облучается с 6 до 10 ч, т. е. $n=4$. В остальные часы суток солнечная радиация не попадает в створ условного светопроема.

Пример 1. Определить количество энергии суммарной солнечной радиации, приходящей в июне к наружной поверхности остекления, ориентированного на Ю-В , $A_n=45$ град по данным рис. 3. Почасовая энергия прямой и рассеянной радиации принята по [3] для пригорода Казани, широта 56 град для безоблачного неба. При безоблачном небе солнечная радиация имеет максимальные значения, что является обоснованием для оценки перегрева помещений. Расчет приведен в табличной форме (табл. 1).

Как видно из табл. 1, разработанный универсальный метод позволяет определить почасовой приход

Таблица 1
Table 1

**Расчет почасовой энергии суммарной солнечной радиации,
приходящей к наружной поверхности СЗУ условного светопроема в июне**
**Calculation of the hourly energy of the total solar radiation coming to the outer surface of the sun protective device
of the conditional light opening in the month of June**

№ п/п	Расчетные параметры	Часы суток (истинное солнечное время)				
		6–7	7–8	8–9	9–10	10–11
1	h_o , град	22	32	41	49	53
2	A_o , град	98	85	73	53	37
3	S_{\perp} , МДж/м ²	2,4	2,68	2,89	2,99	3,07
4	Dr , МДж/м ²	0,4	0,56	0,66	0,76	0,87
5	Разность ($A_o - A_H$) или ($A_H - A_o$)	53	40	28	10	8
6	$\cos\theta$	0,557	0,649	0,666	0,646	0,595
7	$S_{\perp} \cdot \cos\theta$, МДж/м ²	1,334	1,739	1,924	1,931	1,826
8	$0,5 Dr$, МДж/м ²	0,2	0,28	0,33	0,38	0,435
9	$Q_{\text{при}} = S_{\perp} \cdot \cos\theta + 0,5 Dr$, МДж/м ²	1,534	2,019	2,254	2,311	2,261

прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации к наружной поверхности СЗУ. Полученные данные позволяют выделить энергию солнечной радиации, приходящей в створ условного светопроема, перед которым располагается СЗУ. Эта энергия ограничена продолжительностью инсоляции светопроема и в соответствии с рис. 3 происходит с 6 до 9 ч (в табл. 1 эта энергия выделена жирным шрифтом).

Суммируя почасовой приход суммарной солнечной энергии, можно определить полную энергию, которая придет к СЗУ за период инсоляции условного светопроема:

$$Q_{\text{при}} = 1,534 + 2,019 + 2,254 = 5,807 \text{ МДж/м}^2.$$

**Расчет солнечной энергии,
прошедшей через СЗУ**

Солнцезащитные устройства по типу жалюзи представляют собой параллельные ламели, которые расположены под различными углами к плоскости фасада или остекления.

При прохождении солнечной радиации через СЗУ на плоскости фасада проецируется теневой след, состоящий из затененных участков и освещенных участков, облучаемых солнечной радиацией.

В соответствии с актинометрическими правилами по измерению солнечной радиации на открытых участках фиксируется суммарная солнечная радиация, а при экранировании прямых солнечных лучей – рассеянная.

Из этого следует, что в теневом следе СЗУ на фасаде здания или на поверхности светопроема возникают участки, облучаемые суммарной солнечной радиацией, когда солнечные лучи проходят в зазоры между ламелями, и участки, облучаемые рассея-

ной радиацией, когда солнечные лучи экранируются ламелями. Расчет солнечной энергии, прошедшей через СЗУ, сводится к суммированию энергий, пришедших к освещенным и затененным участкам на теневом следе.

В связи с тем, что суммарная солнечная радиация складывается из прямой и рассеянной, целесообразно разделить эти энергии и объединить рассеянную радиацию освещенных и затененных участков. В этом случае энергия рассеянной радиации в теневом следе будет равна энергии рассеянной радиации, приходящей к наружной поверхности СЗУ.

Полная энергия солнечной радиации, проходящая через СЗУ, будет складываться из рассеянной и прямой, которая определится долей площади освещенных участков в единице площади теневого следа (в 1 м²), через коэффициент освещенности k_o .

В соответствии с изложенным можно записать формулу для расчета энергии солнечной радиации, проходящей через СЗУ:

$$Q = k_o \cdot S_{\perp} \cdot \cos\theta + k \cdot Dr.$$

Размер освещенных участков в теневом следе СЗУ зависит от размеров ламелей и расстояния между ними, угла наклона ламелей к плоскости фасада или остекления и положения солнца на небосводе в те часы суток, когда происходит инсоляция помещений.

В настоящее время затруднительно создать общую математическую модель или программу расчета в связи с многообразием типов СЗУ и ограниченностью информации по практическим расчетам, поэтому предлагается графический метод определения площадей затененных и освещенных участков в теневом следе СЗУ, что иллюстрируется примером.

Таблица 2
Table 2

Расчетная почасовая энергия суммарной солнечной радиации, прошедшей через СЗУ к условному светопроему в июне
The estimated hourly energy of the total solar radiation that passed through the sun-protective device to the conditional light opening in June

Расчетные параметры	Часы суток (истинное солнечное время)		
	6–7	7–8	8–9
Горизонтальные инсоляционные углы	37	50	62
Ширина зон освещения/затенения на одном шаге ламелей, мм	0/200	20/180	80/120
Ширина освещенных зон на 1 м ширины теневого следа СЗУ, мм	0	100	400
Коэффициент освещенности k_0	0	0,1	0,4
Прямая солнечная радиация, приходящая к наружной поверхности СЗУ, $S_{\perp} \cdot \cos \theta$, МДж/м ²	1,334	1,739	1,924
Прямая солнечная радиация, проходящая через СЗУ, $k \cdot S_{\perp} \cdot \cos \theta$	0	0,174	0,77
Рассеянная радиация, приходящая к наружной поверхности и проходящая через СЗУ, МДж/м ²	0,2	0,28	0,33
Суммарная солнечная радиация, проходящая через СЗУ в каждый час облучения, $Q_i = k_0 \cdot S_{\perp} \cdot \cos \theta + 0,5 \cdot D$, МДж/м ²	0,2	0,454	1,1
Общая энергия, прошедшая через СЗУ за период инсоляции светопроема $Q_{\text{про}} = \sum Q_i$, МДж/м ²	0,2 + 0,454 + 1,1 = 1,754		

Пример 2. Определить количество солнечной энергии, проходящей через СЗУ, которое расположено перед условным светопроемом на фасаде юго-восточной ориентации в июне на широте Казани.

Для расчета приняты СЗУ с вертикальными ламелями, что для светопроемов восточной и юго-восточной ориентации является наиболее целесообразным [4]. Ламели сечением 50×150 мм расположены с шагом 200 мм под углом 90° к плоскости фасада (рис. 4).

Расчет ведется на 1 м² площади теневого следа от СЗУ. Для вертикальных ламелей нет ограничения по высоте солнца h_0 , поэтому вертикальные инсоляционные углы в расчетах не используются. Горизонтальные инсоляционные углы определяются углом падения солнечного луча на плоскость фасада как разность между азимутом плоскости фасада юго-восточной ориентации (135°) и азимутом середины часовых интервалов A_0 , определенных в табл. 1: для интервала 6–7 ч – 135–98=37°; для интервала 7–8 ч – 135–85=50° и для интервала 8–9 ч – 135–73=62°.

Эти углы являются основой графического расчета размеров облученных и затененных участков в теновом следе СЗУ. На рис. 4 приведены графические построения на фрагментах СЗУ. Эти построения позволяют определить размеры облученных и затененных зон по трем часовым интервалам, в которых происходит инсоляция условного светопроема.

Для вертикальных ламелей коэффициент освещенности в теновом следе СЗУ – k_0 может быть определен не отношением площади освещенных участков к единице площади теневого следа (к 1 м²), а отношением ширины всех освещенных участков к единице ширины теневого следа, т. е. к 1 м. В рассматриваемом СЗУ шаг ламелей равен 200 мм (рис. 4, а), следовательно, на одном метре ширины теневого следа

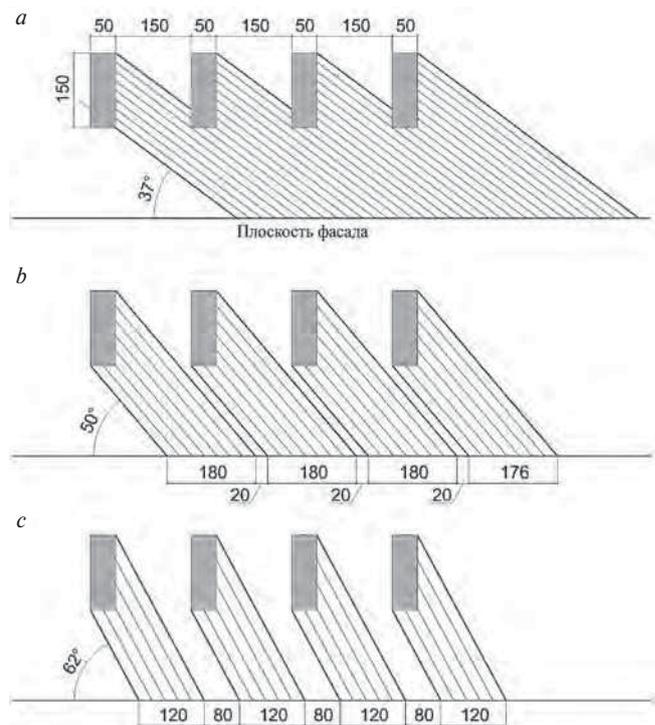


Рис 4. К определению зон облучения и затенения в теновом следе СЗУ: а – в интервале 6–7 ч; б – в интервале 7–8 ч; с – в интервале 8–9 ч

Fig. 4. To determining the zones of irradiation and shading in the shadow trace of the SDU: a – in the range of 6–7 hours; b – in the range of 7–8 hours; c – in the range of 8–9 hours

располагается пять шагов ламелей, что учтено в расчетах энергии по табл. 2.

Из рис. 4 следует, что с 6 до 7 ч при инсоляционном угле 37° (рис. 4, а) на одном шаге ламелей отсутствует зона освещения в теновом следе, весь теновый след затенен. С 7 до 8 ч при инсоляционном угле 50° (рис. 4, б) появляется зона освещения шириной

20 мм, а 180 мм ширины теневого следа остаются затененными. С 8 до 9 ч при инсоляционном угле 62° (рис. 4, с) зона освещения достигает 80 мм, а затенения 120 мм.

С учетом размеров зон освещения и затенения в табл. 2 приведен расчет суммарной солнечной радиации, прошедшей через СЗУ в каждый час облучения (строка 8), и общей энергии, прошедшей через СЗУ за весь период инсоляции светопроема (строка 9).

Таким образом, получены необходимые данные для определения **величины солнечного фактора СЗУ – $G_{\text{СЗУ}}$** . Это величина энергии суммарной солнечной радиации, приходящая к наружной поверхности СЗУ, – $Q_{\text{при}}=5,807$ МДж/м² и количество солнечной энергии, которая прошла через СЗУ за период инсоляции светового проема, – $Q_{\text{про}}=1,754$ МДж/м²:

$$G_{\text{СЗУ}} = Q_{\text{про}} / Q_{\text{при}} = 1,754/5,807 = 0,302.$$

Выводы

Разработанный метод позволил выполнить необходимые расчеты и получить расчетный инструмент для определения величины солнечного фактора СЗУ. Однако анализ результатов выявил ряд неопределенностей в проектировании солнцезащиты помещений.

Известно, что интенсивность солнечной радиации, а следовательно, и почасовая энергия облучения возрастают от восхода солнца к полудню. В соответствии с этим изменяется величина солнечного фактора.

Так, на интервале 6–7 ч $G_{\text{СЗУ}}=0,2/1,534=0,13$. На интервале 7–8 ч $G_{\text{СЗУ}}=0,454/2,02=0,22$, а на интервале 8–9 ч $G_{\text{СЗУ}}=1,1/2,254=0,49$.

Можно видеть, что за период инсоляции светопроема величина солнечного фактора увеличивается более чем в три раза, следовательно, будет возрастать величина солнечной энергии, проходящей через СЗУ.

Солнечный фактор является относительной величиной, он показывает долю энергии солнечной радиации, которая прошла через СЗУ. При различной энергии, приходящей к СЗУ, величина энергии, прошедшая через СЗУ, будет также различной при одной и той же величине солнечного фактора. Таким образом, тепловое воздействие на помещение будет также различным.

Таким образом, перегрев помещений определяется не столько величиной солнечного фактора, сколько величиной солнечной энергии, пришедшей к световому проему, однако критическая величина солнечной энергии, с которой начинается перегрев помещений, в нормативных документах не регламентирована.

Очевидно, что определение критической величины солнечной энергии является важной составной

частью проектирования солнцезащиты помещений. При этом требуется учет ряда факторов, основными из которых являются: обоснование расчетной календарной даты, приход прямой и рассеянной радиации к СЗУ, продолжительность инсоляции светопроема и время суток, в которое это облучение происходит.

Проблема солнцезащиты помещений требуют дальнейших исследований.

Список литературы

1. Куприянов В.Н., Седова Ф.Р. Обоснование и развитие энергетического метода расчета инсоляции жилых помещений // *Жилищное строительство*. 2015. № 5. С. 83–87.
2. Куприянов В.Н. К оценке теплового комфорта помещений, облучаемых солнечной радиацией через световые проемы. Ч. 1. Расчет энергии солнечной радиации, приходящей к наружной поверхности оконного проема // *Вестник Приволжского территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2019. № 22. С. 191–196.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Ч. 1–6. Вып. 12. Л: Гидрометеиздат, 1988.
4. Куприянов В.Н., Спиридонов А.В. Расчет параметров солнцезащитных устройств // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 3 (83). С. 54–62.

References

1. Kupriyanov V.N., Sedova F.R. Substantiation and development of the energy method for calculating the insolation of residential premise. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 5, pp. 83–87. (In Russian).
2. Kupriyanov V.N. To the assessment of the thermal comfort of rooms irradiated by solar radiation through light openings, part 1. Calculation of the energy of solar radiation arriving at the outer surface of the window opening. *Vestnik Privolzhskogo territorial'nogo otdeleniya Rossiiskoi Akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*. 2019. No. 22, pp. 191–196. (In Russian).
3. Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR]. Series 3. Parts 1–6, Iss. 12. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988.
4. Kupriyanov V.N., Spiridonov A.V. Calculation of the parameters of sun-protection devices. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2019. No. 3 (83), pp. 54–62. (In Russian).

УДК 644.3

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-46-52>

А.К. СОЛОВЬЁВ, д-р техн. наук (kafedraarhitektury@yandex.ru),
Е.А. ДОРОЖКИНА, инженер (dor-ea@yandex.ru)

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

Современное понимание роли естественного освещения при проектировании зданий

Рассматривается роль световых проемов в аспекте формирования объектов строительства. Использование стекла является обязательным признаком современной архитектуры. Архитектурная выразительность таких объектов практически неоспорима. Однако формирование светопроемов различных размеров и форм находит свое отражение и в постройках различных эпох и регионов. При этом определяющее значение при их проектировании имеет совокупность многих факторов. Отмечается неоспоримое значение естественного освещения и инсоляции для здоровья и психологического комфорта человека. Особое внимание уделяется вопросам энергоэффективности строительных объектов при различных климатических параметрах. Обозначена необходимость оптимизации размеров светопроемов с учетом теплопотерь через них зимой и теплопоступлений летом, а также затрат энергии на искусственное освещение. Отдельным аспектом анализа является взаимосвязь естественного и искусственного освещения интерьеров зданий. Обозначен ряд вопросов и задач, связанных с моделированием распределения естественной и искусственной освещенности с учетом пространственных характеристик светового поля. Особое значение при проектировании должно придаваться динамике естественного освещения во времени года, времени дня при проектировании зданий с учетом решаемых функциональных задач. Также обозначены перспективные направления использования естественного освещения в современной архитектуре.

Ключевые слова: естественный свет, инсоляция, солнцезащита, качество световой среды, архитектурная выразительность зданий, ограждающие конструкции, светопрозрачные конструкции.

Для цитирования: Соловьёв А.К., Дорожкина Е.А. Современное понимание роли естественного освещения при проектировании зданий // *Жилищное строительство*. 2021. № 11. С. 46–52.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-46-52>

A.K. SOLOVIEV, Doctor of Sciences (Engineering) (kafedraarhitektury@yandex.ru),
E.A. DOROZHKINA, Engineer (dor-ea@yandex.ru)
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

Modern Understanding of the Role of Natural Lighting in the Design of Buildings

The article discusses the role of light openings in the aspect of the formation of construction objects. The use of glass is a mandatory feature of modern architecture, which shows the achievements of modern technology and technology. The architectural expressiveness of such objects is almost indisputable. However, the formation of light openings of various sizes and shapes is reflected in the buildings of different eras and regions. At the same time, a combination of many factors was of decisive importance in their design. The article notes the indisputable importance of natural lighting and insolation for human health and psychological comfort. Particular attention is paid to the issues of energy efficiency of construction facilities under various climatic parameters. The necessity of optimizing the size of light openings is indicated, considering heat loss through them in winter and heat gain in summer, as well as energy costs for artificial lighting. A separate aspect of the analysis is the relationship between natural and artificial lighting of building interiors. Several issues and tasks related to modeling the distribution of natural and artificial illumination, considering the spatial characteristics of the light field, are outlined. Importance in the design should be given to the dynamics of natural lighting in the time of year, time of day when designing buildings, considering the functional tasks to be solved. Promising directions of using natural lighting in modern architecture are also outlined.

Keywords: natural light, insolation, sun protection, quality of the light environment, architectural expressiveness of buildings, enclosing structures, translucent structures.

For citation: Soloviev A.K., Dorozhkina E.A. Modern understanding of the role of natural lighting in the design of buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 11, pp. 46–52. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-11-46-52>

Через окна осуществляется связь внутренней и внешней среды. От композиции окон на фасадах полностью зависит архитектура зданий. Недостаточный учет естественного освещения и инсоляции приводит к созданию архитектурно невыразительных безликих коробок, которые могут удовлетворять лишь требованиям прочности и устойчивости, как, например, трансформаторные будки или склады на периферии промзон. Остальные компоненты триады Витрувия – польза и красота – отсутствуют, здание нельзя признать произведением архитектуры (рис. 1–2).

Польза, которую Витрувий поставил на первое место, включает требования комфорта, многие из которых не связаны с естественным освещением и определяются удобством размещения помещений, их площадью и возможностями размещения мебели и оборудования, перемещения людей из эвакуации в чрезвычайных ситуациях. Световые проемы связаны с обеспечением требуемого температурно-воздушного режима, чистоты воздуха, необходимыми уровнями естественной освещенности, требуемыми условиями инсоляции. Окна должны защищать помещения от уличного шума и обеспечивать зрительную связь с внешней средой.

О значении естественного света и инсоляции для здоровья и психологического самочувствия людей, которые обеспечиваются окнами, много говорить не имеет смысла, так как эти вопросы подробно исследовались и продолжают исследоваться учеными-гигиенистами [1, 2]. Основным фактором является то, что люди за многие тысячелетия своего существования полностью адаптировались к естественному изменению уровней освещенности, изменению спектрального состава естественного света. Эту привычку не могут изменить несколько сотен лет использования человеком искусственного света, от лучины до современных светодиодов. Поэтому с изобретением люминесцентного освещения в 1930-е гг., которое могло имитировать естественный свет и создавать высокие уровни освещенности, архитекторы решили отказаться от естественного света вообще и стали строить безоконные и бесфонарные здания не только для промышленных предприятий, но даже для школ. Эта тенденция распространилась по всему миру. Однако вскоре на предприятиях стали замечать, что производительность труда резко снизилась. В СССР, где это не было связано с трудностями найти работу, люди стали уходить с таких производств. Попытки заменить информационную составляющую окон искусственными слайдами с изображением морских, лесных и луговых пейзажей ничего не дали. Как показали опросы работающих, внутренней информации в производственных цехах вполне достаточно. Людям

не хватает природной динамики естественного света, сведений о времени дня и о погоде, которые они могут получить через окна и даже фонари верхнего света. Поэтому безоконных и бесфонарных зданий нигде в мире больше не строят.

В последние годы резко возросло экономическое значение естественного освещения и инсоляции [3, 4]. Невыполнение норм естественного освещения и инсоляции может снизить стоимость 1 м² квартиры в 4–5 раз. В жилой застройке центральных районов городов при высокой стоимости 1 м² жилья стоимость квартиры при продаже может упасть на несколько миллионов рублей и более. В районах новостроек такие квартиры передаются в разряд переселенческого фонда, что также оборачивается огромными потерями для застройщика. При проек-



Рис. 1. Здание трансформаторной подстанции (заимствовано из общедоступных ресурсов)

Fig. 1. Building of transformer substation (borrowed from publicly available resources)



Рис. 2. Здание склада (заимствовано из общедоступных ресурсов)

Fig. 2. Warehouse building (borrowed from publicly available resources)

тировании школ, детских дошкольных учреждений, а также производственных зданий невыполнение норм естественного освещения приводит к тому, что проект может быть не утвержден для дальнейшей разработки и строительства.

Неправильное проектирование естественного освещения, инсоляции и солнцезащиты зданий приводит к снижению их энергоэффективности. Светопроемы имеют в три раза меньшее сопротивление теплопередаче, чем требуемое сопротивление теплопередаче глухой части стены. Конечно, современные конструкции окон в жилых зданиях постоянно совершенствуются. Современные оконные рамы и переплеты с тройным остеклением в виде двухкамерных стеклопакетов могут достигать требуемого сопротивления теплопередаче по гигиеническим соображениям. Это значит, что основные требования обеспечения комфорта будут соблюдены [5, 6]. Однако они значительно меньше требуемых сопротивлений теплопередаче для стен из соображений экономии энергии. Это значит, что через окна зимой уходит гораздо больше тепла, чем через глухие стены или покрытия. В то же время летом через окна поступает тепло и солнечная радиация, нагревающая внутренние поверхности помещений. Недаром даже на широте Москвы в Европейской части России при включении кондиционеров в квартирах закрывают окна, а при южной и юго-западной ориентации окон стараются всеми возможными средствами защититься от солнца. Затраты энергии на вентиляцию (там, где она централизованная) и особенно на охлаждение при кондиционировании очень высоки. Через светопроемы в помещения поступает естественный свет. При этом электрическое освещение при достаточных уровнях наружной естественной освещенности может быть отключено. Это дает значительную экономию энергии. Поэтому размеры светопроемов необходимо расчетным путем оптимизировать, учитывая теплопотери через них зимой и теплопоступления летом, а также затраты энергии на искусственное освещение.

Например, в достаточно суровом муссонном климате в городах Хабаровск и Владивосток проведение таких оптимизационных расчетов в МГСУ показало, что наименьшие затраты на эксплуатацию окон в жилых зданиях имеют место при их достаточно большой площади, от 3 до 5 м² (рис. 3) [7], независимо от ориентации.

Современные решения конструкций светопроемов как для жилых зданий, так и при больших плоскостях остекления в общественных зданиях [8] (рис. 4) позволяют значительно снизить энергетическую зависимость величины площади остекления от климатических условий места стро-

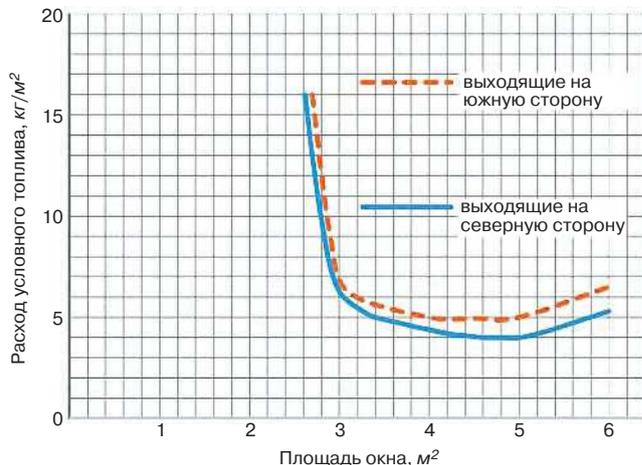


Рис. 3. Расход условного топлива на эксплуатацию окон (на отопление зимой, на охлаждение летом и на искусственное освещение)
Fig. 3. The consumption of conventional fuel for the operation of windows (for heating in winter, for cooling in summer and for artificial lighting)

ительства. Применение специальных стекол, селективно пропускающих видимую часть спектра естественного света и отсекающих тепловую часть спектра солнечной радиации, позволяет увеличивать площадь остекления, не сильно увеличивая теплопотери и тепловую нагрузку на внутреннюю среду в зданиях. Для обычных светопроемов расчеты показывают, что затраты энергии на восполнение теплопотерь через окна в районах с большой продолжительностью солнечного сияния, таких как Забайкалье, Дальний Восток, Северный Кавказ, Крым, Ростовская, Воронежская, Курская, Белго-



Рис. 4. Жилой комплекс «Садовые кварталы», Москва (архитектурное бюро Sergey Skuratov architects, Россия)
Fig. 4. Residential complex «Garden neighborhoods», Moscow (Architectural Bureau Sergey Skuratov architects, Russia)

родская, Волгоградская области, ниже, чем затраты энергии на вентиляцию и охлаждение, т. е. на ликвидацию поступлений тепла летом. При этом затраты энергии на искусственное освещение, которые при современной стоимости электроэнергии также значительны, уменьшаются с увеличением площади светопроемов.

Другим очень важным аспектом при проектировании естественного освещения, инсоляции и солнцезащиты является то, что на современном этапе мы можем с технической точки зрения рассчитать естественное освещение от любых светопроемов, в том числе на основе пространственного распределения естественной освещенности по пространственным характеристикам светового поля. Это очень важно для зрительных работ, связанных с объемными объектами различения, в том числе при освещении музейных пространств со скульптурой, а также в жилых помещениях, в вестибюлях и холлах и т. п. Однако мы еще очень далеки от понимания того, что же нужно людям в тех или иных помещениях. Нормы Европейского союза предлагают перейти на нормирование естественного освещения в абсолютных единицах – в люксах. При этом нормы искусственного освещения всегда были в люксах. Они определялись гигиенистами-светотехниками на основе психофизических исследований по разным критериям. Но в конце концов единая методика была выработана, и на ее основе созданы современные нормы горизонтальной искусственной освещенности для общественных и жилых зданий, а также для производственных зданий по разрядам зрительных работ [9–11]. Для производственных зданий нормы действуют и успешно выполняют свою задачу. Хотя здесь также имеется ряд вопросов, на которые нормы не дают ответа, например при учете контраста между фоном и объектом различения. Однако эти вопросы не являются критическими. Но в жилых зданиях, детских дошкольных учреждениях, а также в части административных зданий большое значение имеет насыщенность помещений естественным светом. Это надо оценить, может быть, связать для простоты и привычности с такой величиной, как КЕО. Тем более что КЕО, являясь относительной величиной, сравнивает абсолютные значения освещенности в помещении с величинами наружной освещенности. А так как освещенность оценивается человеком только в сравнении, что вытекает из закона Вебера–Фехнера, то величиной КЕО для оценки естественного освещения пренебрегать нельзя.

Очень важной и еще не решенной задачей является оценка естественного освещения помещений

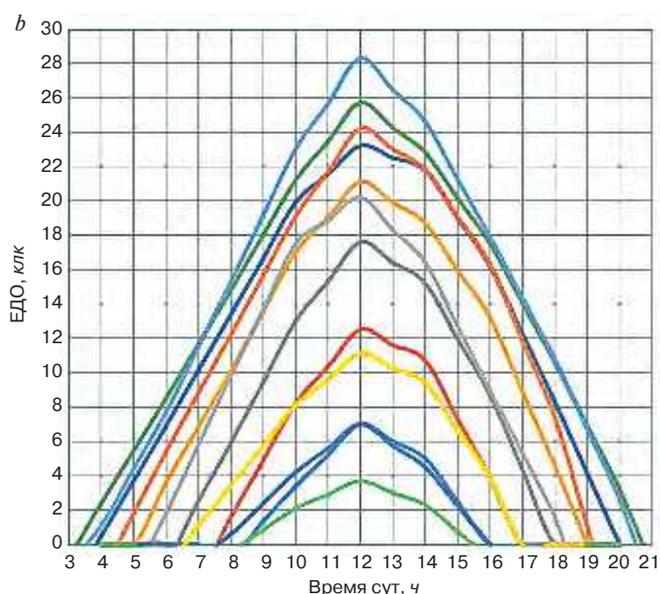
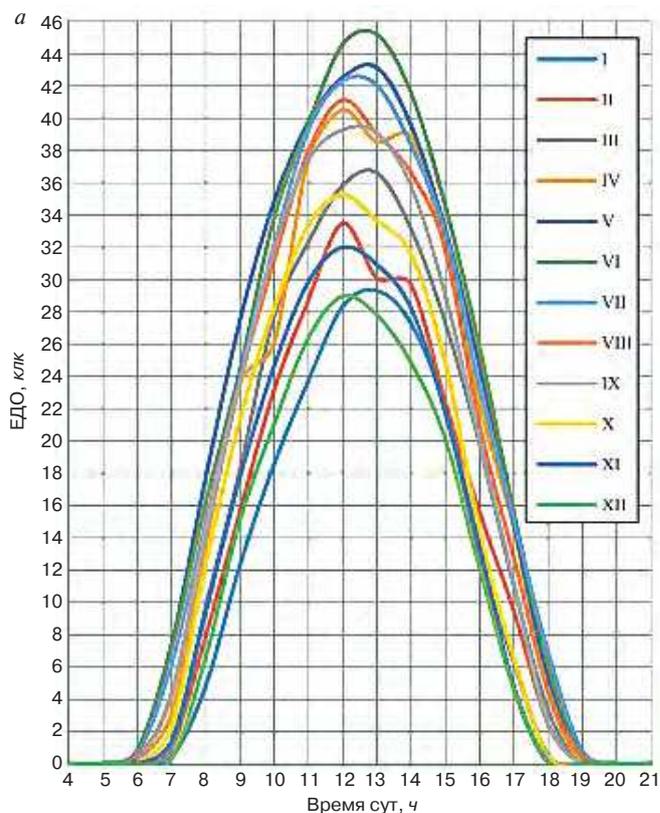


Рис. 5. Диаграммы хода естественной диффузной освещенности (ЕДО) в Ханое, 21,30° с. ш. (а) и Москве, 55,70° с.ш. (б)

Fig. 5. Diagrams of the course of natural diffuse illumination in Hanoi, 21.30° n.l. (a) and Moscow, 55.70° n.l. (b)

во времени и в пространстве. Как уже отмечалось, важнейшим качеством естественного освещения является его динамика во времени года, времени дня и по пространству помещения. Какие минимальные уровни освещенности должны обеспечиваться на определенной площади помещения, в течение какого времени дня и в какие периоды года? Эта



Рис. 6. Международный деловой центр Москва-Сити (заимствовано из общедоступных ресурсов)

Fig. 6. International Business Center Moscow-City (borrowed from publicly available resources)



Рис. 7. Интерьер офисного лобби компании Solarspot International

Fig. 7. Interior of the office lobby of Solarspot International



Рис. 8. Гибридная осветительная система «LED+«Solarspot®» (диаметр световодных труб 375 мм)

Fig. 8. Hybrid lighting system «LED+«Solarspot®» (diameter of light guide tubes 375 mm)

задача пока не определена и является объектом для дальнейших исследований инженеров-строителей и архитекторов. Это особенно важно в районах средней полосы России, где статистический световой климат показывает, что летом в июне–июле наружная диффузная освещенность может составлять в 12 ч дня 28–30 тыс. люкс, а в декабре только 4–5 тыс. люкс. Совсем другая картина в южных и тропических районах, где в течение всего года наружная диффузная освещенность в 12 ч дня превышает 29–45 тыс. люкс [12] (рис. 5). При этом в южных и тропических районах имеет место резкий рост освещенности сразу после восхода солнца, а в средней полосе рост более плавный и зависит от времени года. Пространственно-временная оценка естественного освещения в нашей стране, расположенной в основном в средней широтной полосе, является особенно важной.

Точность обычных расчетов естественного освещения зависит от того, какие допущения мы применяем при расчетах. Современные нормы естественного освещения, нормирующие величину КЕО, имеют дело с диффузным освещением. При этом в отличие от основного допущения о пасмурном небе с распределением яркости по закону П. Муна и Д. Спенсер в настоящее время Международная комиссия по освещению нормирует 15 типов небосвода от пасмурного неба до ясного с распределе-

нием яркости, соответствующим статистическому распределению яркости в данной местности. Это приближает результаты расчетов к статистически наиболее вероятным для данного региона [13]. Следует отметить, что распределение яркости может менять величину КЕО в наиболее неблагоприятных точках помещения в два раза и более, поэтому для новой пространственно-временной оценки учет реального статистического распределения яркости неба очень важен.

При использовании стекла повышается архитектурная выразительность объекта [14, 15]. Современный стиль хай-тек – высокие технологии, – характерным примером которого является комплекс Москва-Сити, наглядно показывает, как стекло может быть основным материалом ограждающих конструкций зданий (рис. 6). При этом особенно важно создать такие конструкции ограждающего контура, которые обеспечат минимальные тепlopоступления и минимальные тепlopотери, и надо следить за тем, чтобы светопропускание остекления не снижалось. Солнцезащитные устройства, специальные стекла, голографические оптические элементы и нанесение специальных дифракционных сеток на стекло позволяют снизить тепловую радиационную нагрузку на помещения за такими фасадами. Однако эта тема требует дополнительных исследований и проверки эффективности таких приемов.

В начале XXI в. большое внимание в строительстве стало уделяться использованию подземного пространства городов, так как использование свободных участков в городах подошло к своим границам и стало очень дорогим. Использование преимуществ естественного освещения под землей стало возможным с появлением таких конструкций, как полые трубчатые световоды [16, 17]. Как показано на рис. 7, полые трубчатые световоды могут создать в подвальном помещении атмосферу полноценного рекреационного помещения и даже лекционного зала. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» разрешает применять световоды в помещениях с непостоянным пребыванием людей. Поэтому их можно применять в подземных паркингах, подземных торговых залах в сочетании с автоматическим регулированием искусственного освещения, встроенным в световоды «гибридная система освеще-

ния» [18] (рис. 8), или с простым автоматически регулируемым совмещенным освещением. Преимуществом такой системы освещения подземных пространств является сохранение природной динамики естественного освещения по уровням и спектральному составу и сохранение в дневное время природного непрерывного спектра естественного света.

Проблемы, поднятые в данной статье, являются далеко не полным перечнем тех вопросов, которые требуют дополнительных исследований в области естественного освещения. Естественное освещение не может быть единственным в зданиях. Искусственное освещение может его дополнять в дневное время и полностью заменять ночью. Днем естественное освещение экономит электроэнергию. Это очень важно. Но еще более важно создать такие условия световой среды, которые были бы комфортны для жизни и деятельности человека.

Список литературы

1. Ван ден Бёльд. Свет и здоровье // *Светотехника*. 2003. № 1. С. 4–8.
2. Boyce P.R. Human factors in lighting [2-nd Ed. Lighting Research Center]. London: Taylor and Francis, 2003. 616 p.
3. Стецкий С.В., Ларионова К.О. К вопросу о продолжительности инсоляции жилых помещений, снабженных балконами или лоджиями // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 5. С. 231–233.
4. Константинов А.П. Расчет естественного освещения жилых помещений, выходящих на остекленные балконы (лоджии) // *Жилищное строительство*. 2020. № 3. С. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-3-61-67>
5. Konstantinov A., Borisova M., Lambias Ratnayake M., Arcibasova T. Design and calculation of energy efficient windows of high-rise building // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 110. P. 01005. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001005
6. Константинов А.П., Крутов А.А., Тихомиров А.М. Оценка теплозащитных характеристик оконных блоков из ПВХ профилей в зимний период эксплуатации // *Строительные материалы*. 2019. № 8. С. 65–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>
7. Соловьёв А.К., Жуйпу Б. Выбор площади оконных проемов жилых зданий в условиях муссонного климата Дальнего Востока РФ и северных районов КНР // *Светотехника*. 2019. № 5. С. 42–49.

References

1. Van den Beld. Light and health. *Svetotekhnika*. 2003. No. 1. pp.4–8. (In Russian).
2. Boyce P.R. Human factors in lighting [2nd Ed. Lighting Research Center]. London: Taylor and Francis, 2003. 616 p.
3. Stetsky S.V., Larionova K.O. On the question of the duration of insolation of residential premises equipped with balconies or loggias. *Innovatsii i investitsii*. 2020. No. 5, pp. 231–233. (In Russian).
4. Konstantinov A.P. Calculation of natural lighting of residential premises facing glazed balconies (loggias). *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 3, pp. 61–67. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-3-61-67>
5. Konstantinov A., Borisova M., Lambias Ratnayake M., Arcibasova T. Design and calculation of energy efficient windows of high-rise building. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 110. P. 01005. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001005
6. Konstantinov A.P., Krutov A.A., Tikhomirov A.M. Assessment of the PVC windows thermal characteristics in winter. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 8, pp. 65–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-773-8-65-72>
7. Soloviev A.K., Ruipu B. The choice of the area of window openings of residential buildings in the monsoon climate of the Far East of the Russian Federation and the northern regions of China. *Svetotekhnika*. 2019. No. 5. pp. 42–49. (In Russian).

8. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий. СПб.: ВЫБОР, 2008. 360 с.
9. Muraviova N.A., Soloviev A.K., Stetsky S.V. Comfort light environment under natural and combined lighting: method of their characteristics definition with subjective expert appraisal using // *Light & Engineering*. 2018. Vol. 26 (3), pp. 124–131.
10. Stetsky S., Larionova K. Natural lighting in the premises of public institutions situated at the ground floors of buildings. *E3S Web of Conferences. 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics, TPACEE 2018*. 2019. Vol. 91. P. 02030. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102030>
11. Стецкий С.В., Дорожкина Е.А. Повышение качества световой, акустической и инсоляционной среды в помещениях гражданских зданий с применением стационарных солнцезащитных устройств // *Инновации и инвестиции*. 2021. № 2. С. 193–198.
12. Соловьёв А.К., Нгуен Ф.Т.Х. Метод расчета параметров светового климата по световой эффективности солнечного излучения // *Светотехника*. 2018. № 5. С. 13–21.
13. Земцов В.А., Соловьёв А.К., Шмаров И.А. Яркие параметры стандартного неба МКО в расчетах естественного освещения помещений и их применение в светоклиматических условиях России // *Светотехника*. 2016. № 6. С. 48–55.
14. Плотников А.А. Архитектурно-конструктивные принципы и инновации в строительстве стеклянных зданий // *Вестник МГСУ*. 2015. № 11. С. 7–15.
15. Вахрушев К.Г., Константинов А.П. Классификация светопрозрачных фасадов: анализ классификационных признаков // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 7. С. 84–91.
16. Соловьёв А.К. Полые трубчатые световоды: их применение для естественного освещения зданий и экономия энергии // *Светотехника*. 2011. № 5. С. 41–47.
17. Кузнецов А.Л., Оселедец Е.Ю., Соловьёв А.К., Столяров М.В. Опыт применения полых трубчатых световодов для естественного освещения в России // *Светотехника*. 2011. № 6. С. 4–41.
18. Овчаров А.Т., Сеянин Ю.Н., Анцупов Ю.В. Гибридный осветительный комплекс для систем совмещенного освещения: концепция, состояние вопроса, область применения // *Светотехника*. 2018. № 1. С. 23–28.
8. Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zakharov A.V. Proektirovanie sovremennykh okonnykh sistem grazhdanskikh zdaniy [Design of modern window systems of civil buildings]. Saint Petersburg: VYBOR, 2008 360 p.
9. Muraviova N.A., Soloviev A.K., Stetsky S.V. Comfort light environment under natural and combined lighting: method of their characteristics definition with subjective expert appraisal using. *Light & Engineering*. 2018. Vol. 26 (3), pp. 124–131.
10. Stetsky S., Larionova K. Natural lighting in the premises of public institutions situated at the ground floors of buildings. *E3S Web of Conferences. 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics, TPACEE 2018*. 2019. Vol. 91. P. 02030. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102030>
11. Stetsky S.V., Dorozhkina E.A. Improving the quality of the light, acoustic and insolation environment in the premises of civil buildings with the use of stationary sun protection devices. *Innovatsii i investitsii*. 2021. No. 2, pp. 193–198. (In Russian).
12. Soloviev A.K., Nguyen F.T.H. Method of calculating the parameters of the light climate by the light efficiency of solar radiation. *Svetotekhnika*. 2018. No. 5, pp. 13–21. (In Russian).
13. Zemtsov V.A., Soloviev A.K., Shmarov I.A. Brightness parameters of the standard MKO sky in calculations of natural lighting of premises and their application in light-climatic conditions of Russia. *Svetotekhnika*. 2016. No. 6, pp. 48–55. (In Russian).
14. Plotnikov A.A. Architectural and constructive principles and innovations in the construction of glass buildings. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 11, pp. 7–15. (In Russian).
15. Vakhrushev K.G., Konstantinov A.P. Classification of translucent facades: analysis of classification features. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019. No. 7, pp. 84–91. (In Russian).
16. Soloviev A.K. Hollow tubular light guides: their application for natural lighting of buildings and energy saving. *Svetotekhnika*. 2011. No. 5, pp. 41–47. (In Russian).
17. Kuznetsov A.L., Oseledets E.Yu., Soloviev A.K., Stolyarov M.V. Experience of using hollow tubular light guides for natural lighting in Russia. *Svetotekhnika*. 2011. No. 6, pp. 4–41. (In Russian).
18. Ovcharov A.T., Selyanin Yu.N., Antsupov Yu.V. Hybrid lighting complex for combined lighting systems: concept, state of the question, scope of application. *Svetotekhnika*. 2018. No. 1, pp. 23–28. (In Russian).



РОССИЙСКАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ НЕДЕЛЯ

1-4.03.2022

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



Международная
специализированная
выставка RosBuild 2022

Салон «Малозэтажное
домостроение»

VII Всероссийское
совещание по развитию
жилищного строительства

Форум «Строим будущее
России вместе»



12+
Реклама



www.rosbuild-expo.ru

При поддержке



Под патронатом



Организатор

 **ЭКСПОЦЕНТР**



Комитет Торгово-промышленной палаты РФ
по предпринимательству в сфере строительства

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

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



XII Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2022: индустриальное домостроение для комплексной застройки»

InterConPan-2022

International Conference of Large-panel Construction

5–6 Апреля 2022 г. / April 5–6, 2022

Белгород / Belgorod

ПРОГРАММА:

- 1-й день** Пленарное заседание
Секции: «Архитектура индустриальных зданий
и комплексное развитие территорий»;
«Инновационная технология предприятий
индустриального домостроения»
- 2-й день** Выездная сессия
АО «Завод ЖБК-1», Белгород
Объекты строительства:
Комплексная застройка ЖК «Новая Заря»
Коттеджная застройка

ТЕМАТИКА:

- Оборудование и технологии для модернизации предприятий индустриального домостроения
- Инновационные строительные системы
- BIM-технологии в сборном домостроении
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Архитектурно-планировочные решения
- Малоэтажное индустриальное строительство
- Решения фасадов и внутренней отделки
- Качественное и энергоэффективное индустриальное строительство
- Комплексное развитие территорий застройки

Постоянный спонсор

PROGRESS GROUP

Постоянный партнер

ALLBAU
software

Производственный партнер

ЖБК-1
БЕЛГОРОД

К проведению конференции готовятся тематические номера журналов «Жилищное строительство» № 3 и «Строительные материалы» № 3, в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 01.03.2022 г.

www.interconpan.ru

Организационный комитет: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08

kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

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