



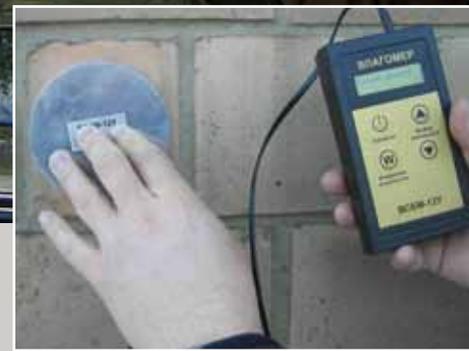
ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

www.rifsm.ru

издается с 1958 г.

К проведению Международной конференции VI Академические чтения,
посвященные памяти академика РААСН Г.Л. Осипова
«Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение.
Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность»



22 - 25 сентября

УФА-2015

Форум УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ

XXV юбилейная международная выставка



Место проведения:

ВДНХ ЭКСПО

ул. Менделеева, 158



Тел./факс: (347) 246-42-29, 246-42-38, 246-42-37
e-mail: stroy@bvkeexpo.ru
www.bvkeexpo.ru

www.stroybvk.ru

БВК
БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

Учредитель журнала
ЦНИИЭП жилища

Ежемесячный научно-технический
и производственный журнал

Входит в Перечень ВАК
и государственный проект РИНЦ

Журнал зарегистрирован
Министерством РФ по делам
печати, телерадиовещания
и средств массовой информации
№ 01038

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с 1958 г.

6'2015

Доклады VI Академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики»

Главный редактор

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

Редакционный совет:

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

БАРИНОВА Л.С.,
канд. хим. наук, вице-президент
Российского союза строителей
(Москва)

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

ГАГАРИН В.Г.,
д-р техн. наук (Москва)

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

ЗАИГРАЕВ А.С.,
генеральный директор
ОАО «Иркутский промстройпроект»
(Иркутск)

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 (Санкт-Петербург)

ФРАНИВСКИЙ А.А.,
канд. техн. наук (Киев, Украина)

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.

И.Е. ЦУКЕРНИКОВ, И.Л. ШУБИН, Н.Е. ЩУРОВА, Т.О. НЕВЕНЧАННАЯ Особенности применения международного стандарта ISO 717-1:2013 в России	3
А.А. ОВЧИННИКОВ, В.В. РОДЕВИЧ, А.В. МАТВЕЕВ Опыт экспериментальных исследований энергоэффективных трехслойных стенных панелей с композитными гибкими связями слоев	7
В.А. ИЛЬИЧЕВ, Н.С. НИКИФОРОВА, Ю.А. ГОТМАН, Е.Ю. ТРОФИМОВ Эффективность применения активных и пассивных методов защиты окружающей застройки в зоне влияния подземного строительства	11
А.А. ВЕРХОВСКИЙ, А.Н. ЗИМИН, С.С. ПОТАПОВ Применение современных светопрозрачных ограждающих конструкций для климатических регионов России.	16
О.О. ЕГОРЫЧЕВ, П.С. ЧУРИН Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на высотные здания	20
Д.М. БЕНОВ, Н.Д. НИКОЛОВ, И.Л. ШУБИН, М.Г. МАЖДРАКОВ Автоматизация вычислений в акустике городской среды	23
Р.Ю. КЛЫЧНИКОВ, В.А. ЕЗЕРСКИЙ, П.В. МОНАСТЫРЕВ Последовательность термомодернизации жилых зданий и ее влияние на экономическую эффективность.	27
А.Г. ТАМРАЗЯН, М.А. ОРЛОВА К остаточной несущей способности железобетонных балок с трещинами.	32
А. УЙМА Требования по освещению помещений в нормативных документах Республики Польша и их связь с энергосбережением	35
И.А. ЧЕРНЫШКОВА, Н.А. БУЗАЛО, А.А. БУДКО Формирование профессиональных компетенций студентов в области энергосбережения	41
В.В. КОЗЛОВ, Т.-Э.А. ТИШНЕР-ЕГОРОВА Взаимовлияние точечных теплотехнических неоднородностей.	45
М.В. БОДРОВ, В.Ю. КУЗИН, М.С. МОРОЗОВ Повышение энергетической эффективности систем обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов	48
Е.В. ЛЕВИН, А.Ю. ОКУНЕВ Инфракрасное термографирование объектов в условиях тумана. Выбор дистанции измерения	51
А.М. КРЫГИНА Ресурсо-, энергосбережение и экологичность строительства как основа инновационного устойчивого развития жилищной недвижимости	57
Е.В. КОРКИНА Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам	60
А.М. ЦИРЛИН, В.А. КУЗЬМИН, А.А. АХРЕМЕНКОВ, В.М. ЦЫГАНКОВ Оптимальная организация и предельные возможности систем отопления с тепловым насосом.	63
Л.А. ГУЛАБЯНЦ Радонозащитная способность ограждающих конструкций зданий и сокращение неоправданных затрат при строительстве	68

Founder of the journal

«TsNIIEP zhilykh i obshchestvennykh zdaniy» (TSNIIEPzhilishcha)»

Monthly scientific-technical and industrial journal

The journal is registered by the RF Ministry of Press, Broadcasting and Mass Communications, № 01038

ZHILISHCHNOE STROITEL'STVO

Published since 1958

6'2015

Editor-in-chief

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

Editorial Board:

NIKOLAEV S.,
*Chairman, Doctor of Sciences
(Engineering), General Director,
the Central Research and Design
Institute for Residential and Public
Buildings (Moscow)*

BARINOVA L.,
*Candidate of Sciences (Chemistry),
Vice-President of the Russian Union
of Builders (Moscow)*

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

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

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

ZAIGRAYEV A.,
*General Director, OAO «Irkutsky
promstroyproyekt» (Irkutsk)*

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)
(Saint- Petersburg)*

FRANIVSKY A.,
*Candidate of Sciences (Engineering)
(Kiev, Ukraine)*

The authors

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

The Editorial Staff can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author.

Reprinting

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

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

Reports of the VI Academic reading «Actual issues of building physics»

I.E. TSUKERNIKOV, I.L. SHUBIN, N.E. SHCHUROVA, T.O. NEVENCHANNAYA Features of International Standard ISO 717-1:2013 Application in Russia	3
A.A. OVCHINNIKOV, V.V. RODEVICH, A.V. MATVEEV Experience in Experimental Study of Energy Efficient Three-Layer Wall Panels with Composite Flexible Connections of Layers	7
V.A. ILYICHEV, N.S. NIKIFOROVA, YU.A. GOTMAN, E.YU. TROFIMOV The Efficiency of Active and Passive Methods for Protection of The buildings Surrounding the Area of Underground Construction	11
A.A. VERKHOVSKY, A.N. ZIMIN, S.S. POTAPOV The Applicability Of Modern Translucent Walling For The Climatic Regions Of Russia	16
O.O. ЕГОРЫЧЕВ, П.С. ЧУРИН Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на высотные здания	20
D.M. BENOVA, N.D. NIKOLOV, I.L. SHUBIN, M.G. MAZHDRAKOV Automation of Calculations in Acoustics of Urban Environment	23
R.Yu. KLYCHNIKOV, V.A. EZERSKIY, P.V. MONASTYREV Sequence of Thermal Modernization of Residential Buildings and Its Impact on Economic Efficiency	27
A.G. TAMRAZIAN, M.A. ORLOVA About Residual Bearing Capacity of Reinforced Concrete Beams with Cracks	32
A. UIMA Requirements for Lighting of Premises in Normative Documents of the Republic of Poland and Their Relationship with Energy Saving	35
I.A. CHERNYSHKOVA, N.A. BUZALO, A.A. BUDKO Formation of Professional Competences of Students in the Field of Energy Saving	41
V.V. KOZLOV, T.-E.A. TISHNER-EGOROVA Inter-Influence of Point Thermo-Technical Heterogeneities	45
M.V. BODROV, V.Yu. KUZIN, M.S. MOROZOV Improving the Energy Efficiency of Assurance System of Microclimate Parameters in Blocks of Flats	48
E.V. LEVIN, A.Yu. OKUNEV Infrared Thermography of Objects in Fog. Selection of Measuring Distance	51
A.M. KRYGINA Resource, Energy Saving and Ecological Compatibility of Construction as a Basis of Innovative Sustainable Development of Housing Estate	57
E.V. KORKINA Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам	60
A.M. TSIRLIN, V.A. KUZMIN, V.M. TSIGANKOV, A.A. AHREMENKOV Оптимальная организация и предельные возможности систем отопления с тепловым насосом	63
L.A. GULABYANTS Radon-Protection Ability of Enclosing Structures of Buildings and Reduction in Unnecessary Costs in Construction	68

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

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

Email: mail@rifsm.ru http://www.rifsm.ru/

УДК 699.86

И.Е. ЦУКЕРНИКОВ¹, д-р техн. наук (3342488@mail.ru), И.Л. ШУБИН¹, д-р техн. наук,
Н.Е. ЩУРОВА¹, инженер; Т.О. НЕВЕНЧАННАЯ², д-р техн. наук (nevento@mail.ru)

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21)

² Московский государственный университет печати им. Ивана Федорова (127550, Москва, ул. Прянишникова, 2а)

Особенности применения международного стандарта ISO 717-1:2013 в России

Одночисловая оценка изоляции воздушного шума в зданиях и элементах зданий в виде индексов изоляции и членов спектральной адаптации, обобщенно учитывающих характер спектра шума, падающего на ограждение, широко применяется в мировой практике. Соответствующие параметры для всех применяемых на практике спектральных характеристик изоляции воздушного шума и универсальный метод их определения установлены международным стандартом ISO 717-1:2013. В настоящей работе рассматриваются особенности введения данного стандарта в России, учитывающие требования российской системы стандартизации. Выполнено также сопоставление А-корректированных спектров шума различных категорий железнодорожного транспорта, эксплуатируемого на российских железных дорогах, с примененными в международном стандарте спектрами уровней звука, используемыми для вычисления членов спектральной адаптации. На примере показаны расхождения в получаемых с их помощью значениях членов спектральной адаптации и предложены соответствующие рекомендации.

Ключевые слова: изоляция воздушного шума, оценка, одночисловой параметр, индекс изоляции.

I.E. TSUKERNIKOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (3342488@mail.ru), I.L. SHUBIN¹, Doctor of Sciences (Engineering),

N.E. SHCHUROVA¹, Engineer; T.O. NEVENCHANAY², Doctor of Sciences (Engineering) (nevento@mail.ru)

¹ Research Institute of Building Physics of RAABS (21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

² Moscow State University of Printing Arts (2a, Pryanishnikova Street, Moscow, 127550, Russian Federation)

Features of International Standard ISO 717-1:2013 Application in Russia

The single-number estimation of airborne sound insulation in buildings and building elements in the form of weighted sound reduction indexes and spectrum adaptation terms, considering in general a spectrum nature of sound falling on a protection design, is widely applied in world practice. Corresponding parameters for all spectral characteristics of airborne sound insulation put into practice and a universal method of their definition are established by the International Standard ISO 717-1:2013. Features of introduction of the International Standard are considered, which take into account the requirements of the Russian standardization system. Comparison of the A-weighted noise spectra for various categories of the railway transportation, to be maintained on the Russian railways, to the sound level spectra, applied in the International Standard to calculate the spectral adaptation terms. The divergences in values of spectral adaptation terms received are shown by the concrete example and corresponding recommendations are offered.

Keywords: airborne sound insulation, rating, single-number quantity, weighted sound reduction index

Оценка звукоизоляции воздушного шума с помощью одночисловых параметров позволяет упростить формулировки акустических требований в строительных документах. Она используется в рекламных проспектах фирм – изготовителей звукоизоляционных изделий и определяется при испытаниях ограждающих конструкций [1–4]. По их значениям оценивают способность ограждающих конструкций обеспечивать акустический комфорт в помещениях зданий посредством звукоизоляции от внутренних и внешних источников шума [5, 6].

Выполненные в середине 80-х гг. прошлого столетия исследования советских [7] и шведских [8] ученых показали тесную связь между изменением одночисловой интегральной оценки звукоизоляции межквартирных ограждений и вызванным им изменением субъективной оценки беспокоящего воздействия бытового шума. Эти исследования позволили сделать вывод, что индексы звукоизоляции достаточно надежно выражают способность конструкций снижать реальные бытовые шумы и их использование для нормирования и оценки звукоизоляционных свойств

внутренних конструкций зданий оправданно [9]. В результате в действующих сводах правил СП 51.13330.2011 и СП 23-103–2003 установлены требуемые предельные значения индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями для жилых, общественных зданий и вспомогательных зданий производственных предприятий, а также звукоизоляции окон в зависимости от значений эквивалентных уровней звука у фасада жилых и административных зданий при наиболее интенсивном движении транспорта.

В настоящее время в России используются два одночисловых параметра: индекс изоляции R_w для оценки изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий производственных предприятий и параметр $R_{w,тран}$, характеризующий изоляцию наружными светопроницаемыми ограждающими конструкциями внешнего шума, создаваемого потоком городского транспорта. Для других характеристик изоляции воздушного шума, установленных в межгосударственном стан-

Уровни звука А эталонного спектра шума потока городского транспорта

Таблица 1

$f, \text{Гц}$	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$L_{A1/3oct}, \text{дБ}$	55	55	57	59	60	61	62	63	64
$L_{Aoct}, \text{дБ}$	61			65			68		
$f, \text{Гц}$	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150		
$L_{A1/3oct}, \text{дБ}$	66	67	66	65	64	62	60		
$L_{Aoct}, \text{дБ}$	71			69			-		

дарте ГОСТ 27296–2012, национальном стандарте России ГОСТ Р ИСО 10140-2:2012 и международных стандартах ISO 140-4:1998, ISO 140-5:1998, соответствующие одночисловые параметры в российских нормативных документах не установлены. Кроме того, в силу различного физического смысла используемых одночисловых параметров, различаются и методы их определения. Индекс изоляции воздушного шума R_w определяется посредством сопоставления частотной характеристики изоляции ограждающей конструкцией, рассчитанной или измеренной в третьоктавных или октавных полосах частот, с нормативной кривой, характеризующей требуемую изоляцию для обобщенного бытового шума при среднестатистическом значении отношения площади ограждения к эквивалентной площади звукопоглощения, защищаемого от шума помещения. Изоляция шума городского транспорта $R_{Aтран}$ наружными светопрозрачными ограждающими конструкциями определяется с помощью выражения:

$$R_{Aтран} = 75 - 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ai} - R_i)/10}, \quad (1)$$

где R_i – значение спектральной характеристики изоляции воздушного шума данным ограждением в i -й третьоктавной или октавной полосе частот, дБ; L_{Ai} – значение частотно-корректированного по характеристике шумомера A уровня звукового давления (уровня звука A) эталонного спектра потока городского транспорта в i -й третьоктавной или октавной полосе, дБ, в соответствии с данными табл. 1; n – число третьоктавных или октавных полос.

Указанные обстоятельства обуславливают целесообразность применения в России международного стандарта ISO 717-1:2013, вводящего соответствующие одночисловые параметры для всех применяемых на практике спектральных характеристик изоляции воздушного шума строительными ограждающими конструкциями и устанавливающего единый универсальный метод их определения.

Особенности применения международного стандарта. Международный стандарт ISO 717-1:2013 вводит одночисловые параметры изоляции воздушного шума в зданиях и элементами зданий, такими как стены, полы, двери и окна, в виде индексов изоляции ($R_w, R'_w, R'_{45^\circ, w}, R'_{f, s, w}$) и индексов приведенных и стандартизированных разностей уровней звукового давления ($D_{n, f, w}, D_{n, e, w}, D_{n, w}, D_{nT, w}, D_{1s, 2m, nT, w}, D_{f, 2m, nT, w}$) для оценки прямой или косвенной передачи звука через ограждающие конструкции. Стандарт вводит также два члена спектральной адаптации, C и C_{tr} , прибавля-

емые к соответствующему индексу для учета характеристик спектра шума, падающего на ограждение. В работе [10] показано, что неучет спектрального состава шума приводит к существенным расхождениям при одночисловой оценке изоляции воздушного шума ограждениями. Для представления характеристики строительных элементов предлагается использовать запись типа $R_w (C; C_{tr})$ и значение одночислового параметра определять только по третьоктавному спектру. Представление характеристики здания следует выполнять в виде требования, чтобы сумма одночислового параметра и члена спектральной адаптации была не ниже требуемого значения.

Установленные стандартом правила определения одночисловых параметров соответствуют применяемым в России для определения индекса изоляции воздушного шума R_w . Поэтому расширение с его введением номенклатуры одночисловых параметров не вызывает каких-либо сложностей. Вместе с тем их набор следует ограничить номенклатурой частотных характеристик изоляции, для которых существуют действующие в России нормативные документы, устанавливающие методы их измерения. Так, в настоящее время следует исключить из перечня одночисловых параметров, характеризующих изоляцию воздушного шума в зданиях, величины $R'_{45^\circ, w}, R'_{f, s, w}, D_{1s, 2m, nT, w}, D_{f, 2m, nT, w}$, поскольку международный стандарт ISO 140-5:1998, устанавливающий метод измерения соответствующих им частотных характеристик, не введен в России.

Таблица 2

Спектры уровней звука А для вычисления членов спектральной адаптации

Средне-геометрическая частота, Гц	Уровень звука A, L_p , дБА, в полосах частот			
	Спектр № 1 для вычисления C		Спектр № 2 для вычисления C_{tr}	
	Третьоктава	Октава	Третьоктава	Октава
100	-29		-20	
125	-26		-20	
160	-23	-21	-18	-14
200	-21		-16	
250	-19	-14	-15	-10
315	-17		-14	
400	-15		-13	
500	-13	-8	-12	-7
630	-12		-11	
800	-11		-9	
1000	-10		-8	
1250	-9	-5	-9	-4
1600	-9		-10	
2000	-9	-4	-11	-6
2500	-9		-13	
3150	-9		-15	

Примечание. Все уровни являются A -корректированными и общий уровень звука A нормализован к 0 дБА.

Таблица 3

Относительные спектры шума железнодорожного транспорта

Источник шума	Относительная частотная характеристика, дБ, при среднегеометрических частотах октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Пассажирский поезд с локомотивной тягой	-12,6	-15,5	-18,4	-5,6	-3,7	-6,4	-11,5	-23,4
Грузовой поезд (все типы)	+2,8	-5,8	-6	-2,5	-5,2	-7	-12,1	-21,8
Электропоезд	-15,1	-17	-17,3	-4,3	-3,3	-6,2	-13,5	-24,2
Высокоскоростной поезд	+1	-4,5	-13,9	-7,2	-4,6	-5,1	-10,8	-19,4

Введение членов спектральной адаптации и правил определения их значений требует определенного обоснования. Члены спектральной адаптации C и C_{tr} введены для того, чтобы учитывать различные спектры источников шума. В международном стандарте ISO 717-1:2013 в качестве обобщенных спектров применены два спектра: спектр № 1, соответствующий розовому шуму, и спектр № 2, соответствующий шуму дорожного транспорта. Корректированные в соответствии с характеристикой A шумомера уровни звука для указанных спектров приведены в табл. 2.

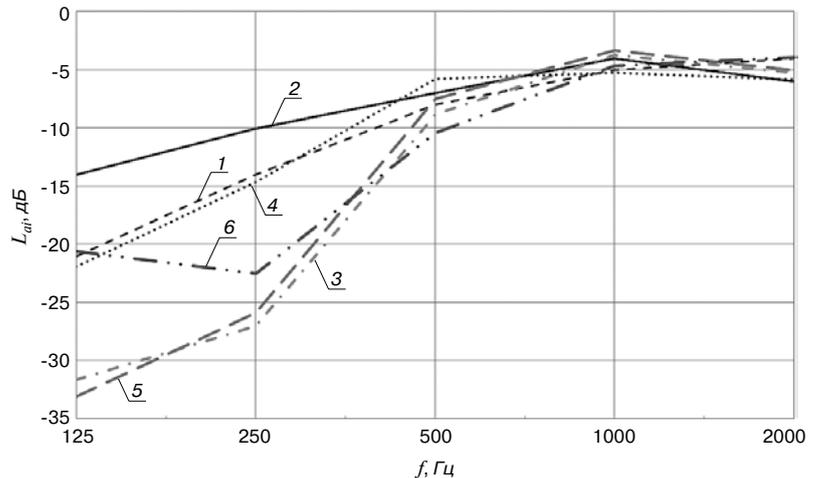
Спектр № 1 используют при вычислении члена спектральной адаптации C и рекомендуют применять при оценке звукоизоляции шумов проживания (разговор, музыка, радио, телевидение); играющих детей; рельсового транспорта, движущегося на средних и высоких скоростях; магистрального дорожного транспорта, движущегося на скорости более 80 км/ч; реактивного самолета, летящего на короткие расстояния; предприятий, излучающих в основном средне- и высокочастотные шумы. Спектр № 2 используют при вычислении члена спектральной адаптации C_{tr} и рекомендуют применять при оценке звукоизоляции следующих источников шума: городской автодорожный транспорт; рельсовый транспорт, движущийся на низких скоростях; винтовой самолет; реактивный самолет, летящий на дальние расстояния; дискотека; кинотеатр с многоканальным звуковоспроизведением; предприятия, излучающие в основном низкие и среднечастотные шумы.

Члены спектральной адаптации определяют с помощью выражения:

$$C_j = -10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_{ij}-X_i)/10} - X_w, \quad (2)$$

где индекс j соответствует номеру спектра шума: $j = 1$ или 2 (табл. 2); L_{ij} – уровень звука A , дБА, из табл. 2 для i -й частотной полосы спектра шума j ; X_i – изоляция воздушного шума, R_p , или фактическая изоляция воздушного шума, R'_i , или приведенная разность уровней звукового давления, $D_{n,i}$, или стандартизированная разность уровней звукового давления, $D_{nT,i}$, измеренные в i -й полосе частот и округленные до 0,1 дБ; X_w – одночисловой параметр, дБ, рассчитанный по частотным спектрам R , R' , D_n или D_{nT} в октавных или третьоктавных полосах частот; индекс i соответствует порядковому номеру третьоктавной полосы в диапазоне от 100 до 3500 Гц ($n = 16$) или порядковому номеру октавной полосы в диапазоне от 125 до 2000 Гц ($n = 5$).

Спектр № 1 соответствует A -корректированному спектру источника розового шума, для которого уровень звукового давления в октавных и третьоктавных полосах частот является постоянной величиной и может быть представлен выражением [11]: $L_j = L_0 + C$, где L_0 соответствует уровню произведения квадрата звукового давления ρ_0^2 , создаваемого источником розового шума на некоторой опорной частоте f_0 , на эту частоту ($L_0 = 10 \lg [\rho_0^2 \cdot f_0 / (4 \cdot 10^{-10})]$); $C = -1,6$ дБ для октавного спектра и $C = -6,4$ дБ для треть-



1 – спектр № 1; 2 – спектр № 2; 3 – пассажирские поезда; 4 – грузовые поезда; 5 – электропоезда; 6 – высокоскоростные поезда

октавного спектра (в [11] ошибочно записано $C = -3,4$ дБ). При этом для получения значений спектра, приведенных в табл. 1, с точностью до 0,1 дБ следует принять $L_0 = -3,5$ дБ. В результате общий уровень звука A спектра № 1 оказывается нормализованным к 0 дБ ($L_A = 0$ дБА), что позволяет использовать сумму $C + X_w$ для оценки снижения ограждающей конструкцией общего уровня звука A падающего на нее воздушного шума.

Спектр № 2 может быть получен из эталонного спектра транспортного шума, приведенного в табл. 1, посредством вычитания из него значения соответствующего этому спектру общего уровня звука A , равного 75 дБА. В результате сумма $R_w + C_{tr} = R_{Aтран}$. Действительно, из выражения (2)

имеем $R_w + C_{tr} = R_{A2} = -10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_{i2}-R_i)/10}$. Подставляя $L_{i2} = L_{A1}$ (табл. 1) – 75, получаем для R_{A2} выражение (1), т. е. $R_{A2} = R_{Aтран}$. Таким образом, введение в соответствии с ISO 717-1:2013 членов спектральной адаптации приводит при оценке изоляции наружными светопрозрачными ограждающими конструкциями к значениям, соответствующим $R_{Aтран}$, т. е. не приведет к необходимости переаттестации эксплуатируемых фасадных конструкций зданий. Кроме того, как и в случае спектра № 1, сумму $X_w + C_{tr}$ можно использовать для оценки снижения ограждающей конструкцией общего уровня звука A .

В приложении А международного стандарта ISO 717-1:2013 указано, что если известен A -корректированный спектр определенного вида шума, его можно сравнить с данными табл. 2 и выбрать соответствующий член

спектральной адаптации. Национальным стандартом России ГОСТ Р 54933–2012 для источников шума железнодорожного транспорта, эксплуатируемых на российских железных дорогах, введены относительные спектры шума, приведенные в табл. 3.

На рисунке проведено сопоставление A -корректированных значений этих спектров со значениями спектров № 1 и 2 в октавных полосах частот из табл. 2. Только для грузовых поездов спектр шума согласуется со спектром № 1. Для остальных категорий поездов согласование с обоими спектрами, используемыми для вычисления членов спектральной адаптации, имеет место в полосах со среднегеометрическими частотами 500–1000 Гц. В низкочастотном диапазоне расхождения существенны.

В связи с этим были выполнены расчеты членов спектральной адаптации для примера, приведенного в таблице С1 ISO 717-1:2013, с использованием всех приведенных на рисунке спектров. При использовании спектров № 1 и 2 получены значения $C=-1$ дБ и $C_{гр}=-3$ дБ. Как и следовало ожидать, для грузовых поездов получили $C_{гр,п}=C=-1$ дБ. Для электропоездов $C_{э,п}=0$ дБ, для пассажирских и высокоскоростных поездов $C_{п,п}=C_{в,п}=1$ дБ.

Выводы. Выполненный анализ показал возможность и целесообразность введения оценки изоляции воздушного шума в зданиях и элементами зданий с помощью одночисловой оценки в соответствии с рекомендациями международного стандарта ISO 717-1:2013. Введение устанавливаемых стандартом правил позволит определять все одночисловые параметры изоляции воздушного шума строительными конструкциями единым методом, применяемым в международной практике. Это даст возможность отечественным предприятиям, изготавливающим ограждающие конструкции зданий, представлять свою продукцию на мировом рынке в соответствии с принятой в мире практикой и проводить ее аттестацию по звукоизолирующим характеристикам по единой методике. Кроме того, введение международного стандарта ISO 717-1:2013 в России не приведет к необходимости переаттестации эксплуатируемой строительной продукции.

Вместе с тем при определении членов спектральной адаптации при наличии источников железнодорожного шума следует руководствоваться спектром № 1, так как его использование дает более близкие значения к величинам, соответствующим относительным спектрам по ГОСТ 54933–2012. При необходимости можно использовать A -корректированные относительные спектры для шума пассажирских поездов, электропоездов и высокоскоростных поездов в соответствии с ГОСТ 54933–2012.

Список литературы

1. Материалы для звукоизоляции зданий и сооружений. Киев: ООО «Акустик Трафик», 2014. 16 с.
2. Цукерников И.Е., Шубин И.Л. Заявление и проверка значений изоляции воздушного шума звукоизоляционных изделий экраном // *Жилищное строительство*. 2011. № 10. С. 37–39.
3. Осипов Г.Л., Бобылев В.Н., Борисов Л.А. и др. Звукоизоляция и звукопоглощение. М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2004. 450 с.
4. Шубин И.Л., Цукерников И.Е., Николов Н., Писарски А. Основы проектирования транспортных шумозащитных экранов. М.: ИД «БАСТЕТ», 2015. 208 с.
5. Боганик А.Г. Акустический комфорт. Часть I. Звуко- и виброизоляция от внутренних источников в жилом здании // *Технологии строительства*. 2008. № 4 (59). С. 1–7.
6. Боганик А.Г. Акустический комфорт. Часть II. Звуко- и виброизоляция жилого здания от внешних источников шума и вибрации // *Технологии строительства*. 2008. № 7 (62). С. 1–5.
7. Крейтан В.Г. О нормировании звукоизоляции в жилых домах // *Жилищное строительство*. 1985. № 2. С. 18–20.
8. Bodlund K. Ljudklimatet i moderna svenska bostader. Buggforskningsradet. Boras, 1984. 84 p.
9. Крейтан В.Г. Защита от внутренних шумов в жилых домах. М.: Стройиздат, 1990. 260 с.
10. Tsukernikov I.E., Nevenchannaya T.O., Nekrasov I.A. A-weighted sound pressure level calculation for penetrating noise. *Proceedings of 37th International Congress Inter-Noise 2008*. Shanghai, China. 2008.
11. Цукерников И.Е., Шубин И.Л., Невенчанная Т.О. Оценка снижения уровня звука шумозащитным экраном // *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 40–44.

References

1. Materialy dlya zvukoizolyatsii zdaniy i sooruzheniy [Materials for sound insulation of buildings and constructions]. Kiev: SC «Acoustic Traffic». 2014. 16 p.
2. Tsukernikov I.E., Shubin I.L. Declaration and verification of airborne sound insulation values for sound insulators in use in Russia. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 10, pp. 37–39. (In Russian).
3. Osipov G.L., Bobylev V.N., Borisov L.A. et al. Zvukoizolyatsiya i zvukopogloshchenie [Sound insulation and absorption]. Moscow: SC «Publishing house AST»: SC «Publishing house Astrel». 2004. 450 p.
4. Shubin I.L., Tsukernikov I.E., Nikolov N., Pisarsky A. Osnovy proektirovaniya transportnykh shumozashchitnykh ekranov [Bases of designing transport noise barriers]. Moscow: PH «BASTET», 2015. 208 p.
5. Boganic A.G. Acoustic comfort. Part I. Sound- and vibro insulation from internal sources in a residential building. *Tekhnologii stroitel'stva*. 2008. No. 4 (59), pp. 1–7. (In Russian).
6. Boganic A.G. Acoustic comfort. Part I. Sound- and vibro insulation of a residential building from external sources of sound and vibration. *Tekhnologii stroitel'stva*. 2008. No. 7 (62), pp. 1–5. (In Russian).
7. Kraitan V.G. About rationing of sound insulation in houses. Protection against noise. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 1985. No. 2, pp. 18–20. (In Russian).
8. Bodlund K. Ljudklimatet i moderna svenska bostader. Buggforskningsradet. Boras. 1984. 84 p.
9. Kraitan V.G. Zashchita ot vnutrennih шумов v zhilyh domah [Protection against internal noise in houses]. Moscow: Stroizdat. 1990. 260 p.
10. Tsukernikov I.E., Nevenchannaya T.O., Nekrasov I.A. A-weighted sound pressure level calculation for penetrating noise. *Proceedings of 37th Intern. Congr. Inter-Noise 2008*, Shanghai, China. 2008. Paper in 08 860.
11. Tsukernikov I.E., Shubin I.L., Nevenchannaya T.O. Assessment of sound level decrease by noise barrier. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 6. pp. 40–44. (In Russian).

УДК 692.231.2:69.001.5

А.А. ОВЧИННИКОВ¹ (ovchinnikov2009@yandex.ru), инженер
В.В. РОДЕВИЧ², канд. техн. наук; А.В. МАТВЕЕВ¹, канд. техн. наук

¹ Томский государственный архитектурно-строительный университет (634003, г. Томск, пл. Соляная, 2)

² ООО «Стройтехинновации ТДСК» (634003, г. Томск, Академический просп., 8/8)

Опыт экспериментальных исследований энергоэффективных трехслойных стеновых панелей с композитными гибкими связями слоев*

Освещены актуальные исследования эксплуатационных и теплотехнических параметров трехслойных стеновых панелей с композитными гибкими связями слоев, применяемых для строительства крупнопанельных зданий. Приведены результаты серии экспериментальных исследований трехслойных наружных стеновых панелей с применением композитных гибких связей, выполненных из стеклопластиковых стержней: исследования на статические вертикальные нагрузки для определения прочности, жесткости, трещиностойкости трехслойных стеновых панелей; экспериментальное определение теплотехнических параметров трехслойных стеновых панелей, определение предела огнестойкости.

Ключевые слова: испытания, статические нагрузки, теплотехнические испытания, огневые испытания, стеновая панель, энергоэффективные конструкции.

A.A. OVCHINNIKOV¹ (ovchinnikov2009@yandex.ru), Engineer,
V.V. RODEVICH², Candidate of Sciences (Engineering), A.V. MATVEEV¹, Candidate of Sciences (Engineering)
¹ Tomsk State University of Architecture and Building (2, Solyanaya Sqyare, 634003, Tomsk, Russian Federation)
² ООО «Stroytekhinnovatsii TDSK» (8/8, Akademicheskyy Avenue, 634003, Tomsk, Russian Federation)

Experience in Experimental Study of Energy Efficient Three-Layer Wall Panels with Composite Flexible Connections of Layers

Actual studies of operational and thermo-technical parameters of three-layer wall panels with composite flexible connections of layers used for construction of large-panel buildings are covered. Results of the series of experimental studies of three-layer external wall panels with the use of composite flexible bracings made of glass-plastic rods, they are the study of static vertical load for determining the strength, rigidity, crack resistance of three-layer wall panels, experimental determination of thermo-technical parameters of three-layer wall panels and determination of ultimate fire-resistance, are presented.

Keywords: tests, static loads, thermo-technical tests, fire tests, wall panel, energy efficient structures.

В последние годы все активнее развивается нормативная база относительно композитной полимерной арматуры и области ее применения. Так, одно из направлений ее применения – композитные гибкие связи слоев железобетонных трехслойных стеновых панелей [1]. Гибкие связи, как правило, располагают в горизонтальном и наклонном относительно плоскости панели положении. При этом горизонтально расположенные гибкие связи-распорки (ГСР) воспринимают нагрузки, возникающие при распалубке конструкции на стадии изготовления и ветровые нагрузки на стадии эксплуатации, а гибкие связи-подвески (ГСП), расположенные под углом 45°–60° к плоскости панели, работают против поперечного сдвига наружного слоя стеновой панели относительно внутреннего. Сами стеновые панели, как правило, изготавливают из тяжелого или легкого теплоизоляционного бетона для конструктивных слоев и эффективного утеплителя в качестве среднего слоя [2–4]. Также обычно устраиваются контурные ребра из того же бетона, что и конструктивные слои,

служащие в качестве огнезащитных преград (требования ГОСТ 31310–2005 «Панели стеновые трехслойные и железобетонные с эффективным утеплителем. Общие технические условия»). Пример конструктивного решения трехслойной стеновой панели для строительства панельного здания приведен на рис. 1.

В рамках данной статьи рассмотрим опыт экспериментальных исследований трехслойных стеновых панелей с применением стеклопластиковых гибких связей, изготовленных Бийским заводом стеклопластиков. Принятые гибкие связи имеют номинальный диаметр $d=7,5$ мм и уширения на концевых участках [5]. Экспериментальные исследования проводились для определения прочностных и теплотехнических характеристик конструкций, а также для определения предела огнестойкости согласно разработанной программе (рис. 2).

Экспериментальные исследования трехслойных стеновых панелей на определение прочности, жесткости, трещиностойкости проводились в строительно-экспертном бюро

* Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 02.G.25.31.0022).

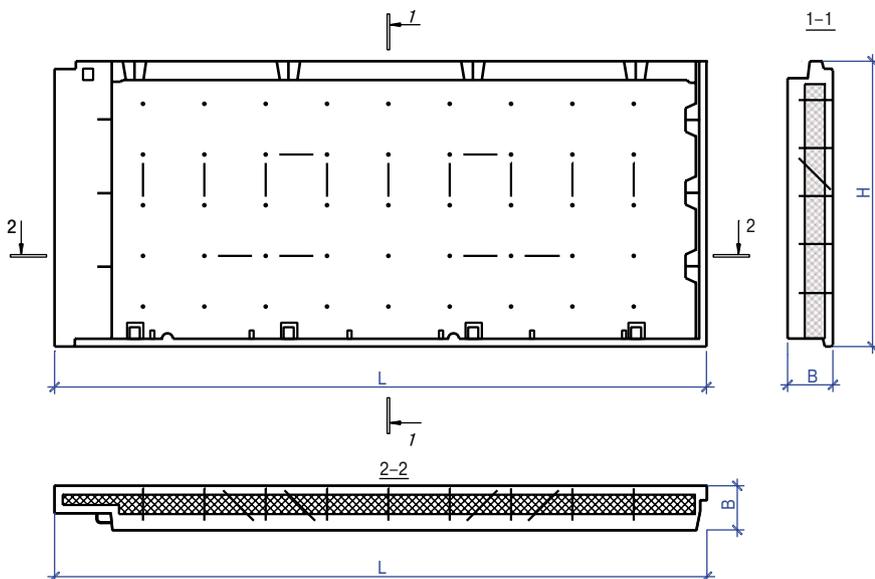


Рис. 1. Геометрическая схема несущей торцевой стеновой панели



Рис. 2. Программа экспериментальных исследований стеновых панелей

ООО «СЭБ» (г. Новосибирск). Испытания были проведены в соответствии с ГОСТ 8829–94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением».

На первом этапе исследовались фрагменты трехслойных стеновых панелей (рис. 3) габаритами $1,2(l) \times 1,54(h) \times 0,4(t)$ м. Конструкции приняты следующими: ФНСП-1 – фрагмент стеновой панели с соединением слоев стеклопластиковыми гибкими связями Бийского завода стеклопластиков (ООО «БЗС», гибкие связи СПА $\varnothing 7,5$ мм); ФНСП-2 – фрагмент стеновой панели с соединением слоев керамзитобетонными армированными дискретными связями (шпонками) размерами 60×160 мм, исследуемой как конструкция-аналог.

Исследования проводились на статическое вертикальное воздействие, прикладываемое к внутреннему слою (испытание на сжатие внутреннего слоя, моделирующее передачу нагрузки от вышерасположенных конструкций) и к наружному слою для определения податливости соединения слоев гибкими связями при действии эксплуатационных нагрузок (рис. 4).

При действии сжимающей нагрузки на внутренний слой контрольные параметры по прочности, жесткости,

трещиностойкости конструкции не были нарушены. При действии сдвигающей нагрузки максимальное смещение наружного слоя относительно внутреннего составило: для фрагментов ФНСП-1 – $0,54-0,74$ мм; для фрагментов ФНСП-2 – до $0,16$ мм, что также не превышает значений контрольных параметров.

На следующем этапе экспериментальным исследованиям была подвержена навесная натурная трехслойная стеновая панель, имеющая габариты $6,29(l) \times 1,54(h) \times 0,4(t)$ м. Аналогично результатам испытаний фрагментов при действии сжимающей нагрузки на внутренний слой контрольные параметры по прочности, жесткости, трещиностойкости конструкции не были нарушены. При действии сдвигающей нагрузки максимальное смещение наружного слоя относительно внутреннего не превысило $1,15$ мм, что также не превышает значений контрольных параметров.

На рис. 5 показан общий вид испытаний натурального образца трехслойной стеновой панели при действии статической нагрузки.

Экспериментальные исследования по определению теплотехнических параметров трехслойных стеновых панелей с композитными гибкими связями слоев проводились в лаборатории строительно-экспертного бюро ООО «СЭБ». Конструкция образца соответствует фрагменту ФНСП-1 стеновой панели с сохранением толщин конструктивных слоев. Испытания были проведены в климатической

камере в соответствии с ГОСТ 26254–84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций» согласно схеме, приведенной на рис. 6. Расчетное сопротивление теплопередаче, определенное экспериментально, составило не менее $R_0 = 4,787$ м²·°C/Вт. Данное значение удовлетворяет требованиям СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [6, 7]. Фотофиксация проведения испытаний приведена на рис. 6, 7.

Экспериментальные исследования по определению предела огнестойкости трехслойных стеновых панелей были проведены в лаборатории ООО «Центр пожарной экспертизы» (г. Красноярск) в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53309–2009 «Здания и фрагменты зданий. Метод натуральных огневых испытаний. Общие требования», ГОСТ 30247.0–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции» и ГОСТ 30247.1–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования». Для испытаний были разработаны конструкции трехслойных стеновых панелей (рис. 8), предусматривающие наличие горизонтального и вертикального стыков

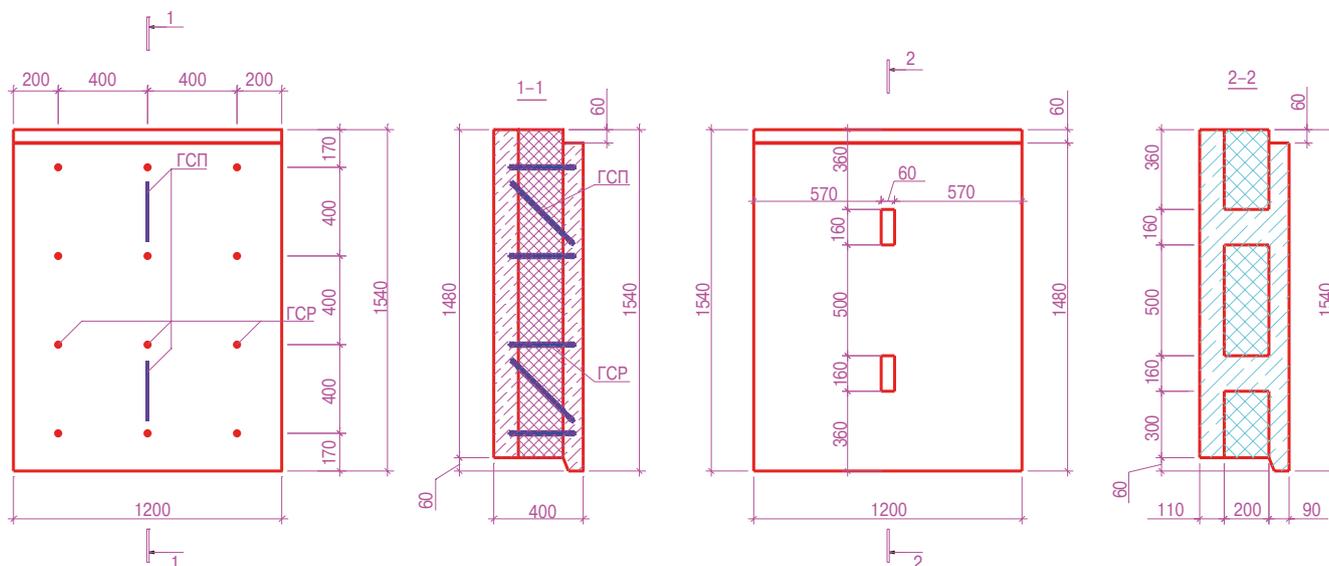


Рис. 3. Конструкции фрагментов ФНСП-1 и ФНСП-2

в зоне активного температурного воздействия [8]. Создание температурного режима происходило в три этапа: постепенный равномерный подъем температуры с 6°C (температура воздуха в лаборатории на момент испытания) до 1030°C ; выдержка температурного режима до достижения одной из стадий разрушения конструкций; разгрузка (спад температуры).

При этом для контролирования параметров по сохранению несущей способности R , целостности E и теплоизоляционной способности I на верхние стеновые панели прикладывалась вертикальная статическая нагрузка, а на внешней поверхности были установлены термодатчики, фиксирующие изменение температуры на внешней поверхности. По результатам данных испытаний исследуемым фрагментам трехслойных стеновых панелей обозначен предел огнестойкости $REI\ 120$ – предел огнестойкости 120 мин. По

истечении 124-й минуты выдержки данного температурного режима произошло нарушение целостности устройства стыка, в результате чего началась интенсивная утечка тепла из камеры.

По результатам комплекса проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- применение композитных гибких связей для соединения наружного и внутреннего слоев трехслойных стеновых панелей обеспечивает надежность эксплуатации таких конструкций при расчетных статических нагрузках и воздействиях;
- проведенные теплотехнические испытания показали обеспечение трехслойными стеновыми панелями с композитными гибкими связями слоев расчетного сопротивления теплопередаче R_0 для применения в жилых зданиях в качестве наружных ограждающих конструкций;



Рис. 4. Общий вид испытания фрагмента ФНСП-1



Рис. 5. Общий вид испытаний

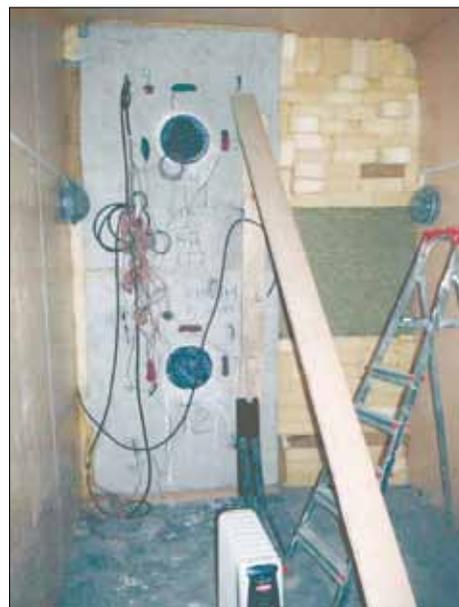


Рис. 6. Общий вид испытаний по определению приведенного сопротивления теплопередаче

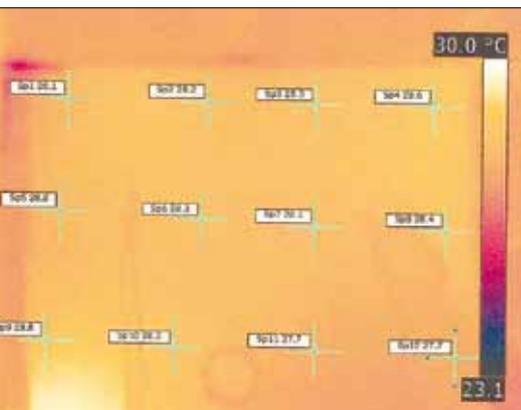


Рис. 7. Тепловизионная съемка стеновых панелей в теплом отделении камеры

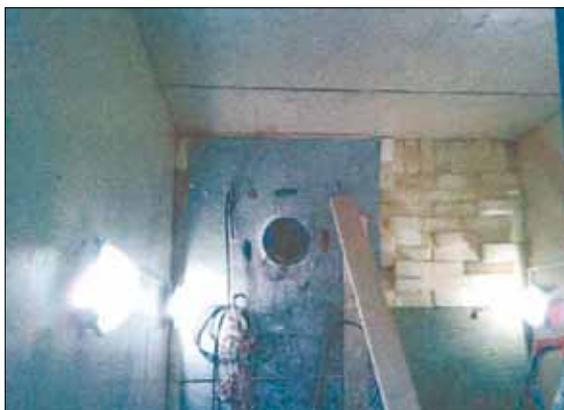


Рис. 8. Общий вид проведения испытаний на огнестойкость

– экспериментальные исследования по определению огнестойкости исследуемых конструкций показали высокую степень обеспечения безопасности при пожаре с обеспечением пределов огнестойкости REI 120, что позволяет использовать их в жилых зданиях I степени огнестойкости;

– для обеспечения безопасности применения трехслойных стеновых панелей с гибкими связями слоев в сейсмически опасных районах (с сейсмической активностью 8 и более баллов) требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Ярмаковский В.Н., Семенюк П.Н., Родевич В.В., Луговой А.В. К совершенствованию конструктивно-технологических решений трехслойных наружных стеновых панелей крупнопанельных зданий в направлении повышения их теплозащитной функции и надежности в эксплуатации // *Актуальные вопросы строительной физики – энергосбережение, надежность, экологическая безопасность: Материалы IV Академических чтений РААСН. 3–5 июля 2012 г.* С. 47–64.
2. Патент РФ на полезную модель № 35119. *Слоистая стеновая панель здания* / Г.И. Шапиро, В.Н. Ярмаковский, С.Л. Рогинский и др. / Заявл. 21.05.2003. Опубл. 27.12.2003. Бюл. № 36.
3. Грановский А.В., Хактаев С.С. Применение стеклопластиковой арматуры в качестве гибких связей в трехслойных стеновых панелях // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 10. С. 84–87.
4. Луговой А.Н., Ковригин А.Г. Композитные гибкие связи для трехслойных панелей // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 22–24.
5. Патент РФ 2147655. *Соединительный элемент* / С.Л. Рогинский, В.В. Антипов, В.Н. Ярмаковский / Заявл. 12.10.1999. Опубл. 20.04.2000. Бюл. № 11.
6. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 4–12.
7. Васильев Г.П., Личман В.А., Голубев С.С. Результаты определения сопротивления теплопередаче наружных стеновых панелей // *АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2012. № 4. С. 74–81.
8. Василенко А.А., Рак Т.Е. Экспериментальные исследования предела огнестойкости многослойных ограждающих конструкций с использованием магнезитовых плит // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. 2013. № 2 (18). С. 172–181.

References

1. Yarmakovskiy V.N., Semeniuk P.N. Rodevich V.V., Lugovoi A.V. To improve the structural and technological solutions of three-layer external wall panels of large buildings in the direction of increase of their thermal protection function and operational reliability. *Aktual'nye voprosy stroitel'noi fiziki – energosberezhenie, nadezhnost', ekologicheskaya bezopasnost': Materialy IV Akademicheskikh chtenii RAASN* [Actual issues of building physics – energy efficiency, reliability and environmental safety: Materials of the IV Academic readings RAACES]. Moscow, 2012, pp. 47–64. (In Russian).
2. Patent RF 35119. *Layered Wall Panel of the building* [Sloistaya stenovaya panel' zdaniya]. Shapiro G.I., Yarmakovskii V.N., Roginskii S.L. Appl. 21.05.2003. Publ. 27.12.2003. Bulletin No. 36. (In Russian).
3. Granovskii A.V., Khaktaev S.S. The use of fiberglass reinforcement as flexible connections in the three-walls panels. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 10, pp. 84–87. (In Russian).
4. Lugovoy A.N., Kovrigin A.G. Composite Flexible Bracings for Three-Layered Thermal Efficient Panels. *Stroitel'nye Materialy* [Constructions Materials]. 2014. No. 5, pp. 22–32. (In Russian).
5. Patent RF 2147655. The connecting element [Soedinitel'nyi element]. Roginskii S.L., Antipov V.V., Yarmakovskiy V.N. Appl. 12.10.1999. Publ. 20.04.2000. Bulletin No. 11. (In Russian).
6. Gagarin V.G., Kozlov V.V. The theoretical premises for calculating reduced R-value. *Stroitel'nye Materialy* [Constructions Materials]. 2010. No. 12, pp. 4–12. (In Russian).
7. Vasil'ev G.P., Lichman V.A., Golubev S.S. The results of determine the thermal resistance external wall panels. *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2012. No. 4, pp. 74–81. (In Russian).
8. Vasilenko A.A., Rak T.E. Experimental studies of the fire resistance of multilayer walling using magnesite boards. *Vestnik komandno-inzhenernogo instituta MChS respublik Belarus'*. 2013. No. 2 (18), pp. 172–181.

УДК 624.1

В.А. ИЛЬИЧЕВ¹, д-р техн. наук, академик РААСН,
Н.С. НИКИФОРОВА² (n.s.nikiforova@mail.ru), д-р техн. наук,
Ю.А. ГОТМАН³, канд. техн. наук, ген. директор, Е.Ю. ТРОФИМОВ¹, инженер

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21)

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

³ ООО «Подземпроект» (125040, Москва, ул. Верхняя, 34, корп. 1, офис 503)

Эффективность применения активных и пассивных методов защиты окружающей застройки в зоне влияния подземного строительства

Рассматривается эффективность применения активных и пассивных защитных мероприятий для окружающей застройки, попадающей в зону влияния подземного строительства. Устройство пассивных защитных мероприятий одновременно изменяет напряженно-деформированное состояние грунтового массива с подземными водами, вмещающего подземное сооружение, фундаменты зданий, подземные выработки (тоннели метро, коллекторы, коммуникации и т. д.). При устройстве активных защитных мероприятий для окружающей застройки в зоне влияния строительства подземных объектов изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива длится во времени. На основе геотехнического моделирования и анализа данных натурных наблюдений за осадками окружающей застройки в зоне влияния строительства подземных объектов были определены коэффициенты снижения к прогнозируемой без защитных мероприятий осадке окружающей застройки при применении активных или пассивных защитных мероприятий.

Ключевые слова: активная и пассивная защита, окружающая застройка, зона влияния.

V.A. ILYICHEV¹, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS, N.S. NIKIFOROVA² (n.s.nikiforova@mail.ru), Doctor of Sciences (Engineering), YU.A. GOTMAN³, Candidate of Sciences (Engineering), Director General, E.YU. TROFIMOV¹, Engineer

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

² Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

³ Limited liability company «Podzemproekt» (34, Verhnyaya str, Moscow, 125040, Russian Federation)

The Efficiency of Active and Passive Methods for Protection of Thebuildings Surrounding the Area of Underground Construction

The efficiency of using of active and passive methods for protection of the buildings located within the area affected by underground construction is considered. The construction of passive ways of protection changes instantaneously the stress-strain state of soil mass with groundwater, which contains the underground structures, building foundations, underground winzes (subway tunnels, underground collectors, communications, etc.). During the construction of active ways for protection of the buildings, which are located in the area affected by the process of construction of underground facilities, the stress-strain state of the soil mass changes gradually. According to the geotechnical simulation and the analysis of the data obtained from the observations of the precipitation of such buildings and constructions, the ratios reducing the settlement of a structure are established. These ratios characterize the decrease in the value of the building settlement when active or passive means of protection are used, in relation to the building sediment when no protection measure is used.

Keywords: active and passive protection, the surrounding buildings, affected area.

Для снижения прогнозируемых сверхнормативных осадок окружающей застройки в зоне влияния строительства подземных объектов применяют защитные мероприятия, которые можно разделить на две группы: пассивные и активные.

К пассивным защитным мероприятиям относится укрепление основания и усиление фундаментов окружающей застройки, устройство отсечных экранов – разделительных стен между подземной выработкой и существующим зданием или сооружением; к активным – распорки с домкратами, преднапрягаемые анкеры, выполняемое методом струйной технологии – Jet-grouting – закрепление грунта возле ограждения глубокого котлована и ниже его дна, модернизация технологии щитовой проходки путем нагнетания жестких бетонных смесей в заобделочное пространство, преднапрягаемые тяжи для надземных конструкций здания.

Предложенные В.А. Ильичевым, Н.С. Никифоровой и М.М. Тупиковым [1, 2] методы прогноза осадок окружающей застройки в зоне влияния глубоких котлованов и коммуникационных коллекторов не распространяются на случаи реализации защитных мероприятий для окружающей застройки.

Для прогнозирования осадок окружающей застройки с защитными мероприятиями были проведены исследования, которым предшествовал анализ изучения состояния вопроса [3], направленный на установление коэффициента снижения осадки при применении активных и пассивных защитных мероприятий.

Согласно данным Н.С. Никифоровой применение свай усиления и отсечных экранов в среднем приводит к снижению осадки окружающей застройки при строительстве зданий с подземной частью в Москве примерно в два раза по сравнению с прогнозируемой без защитных мероприятий.

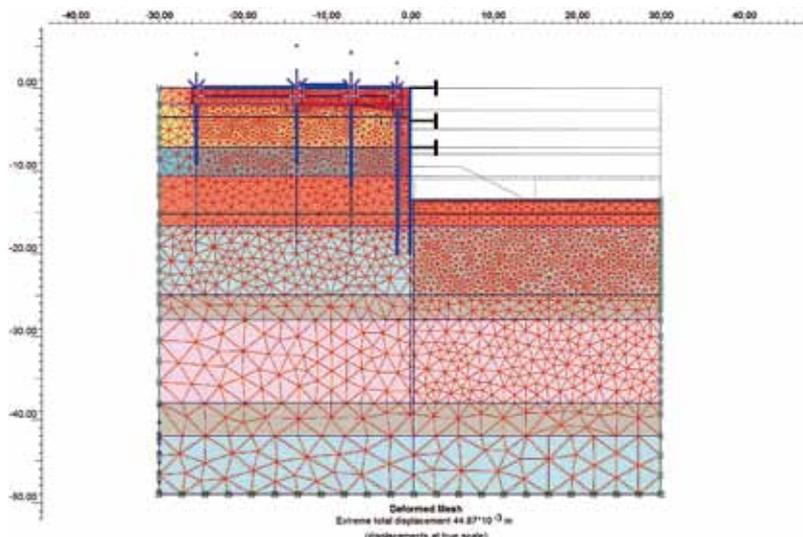


Рис. 1. Конечно-элементная расчетная схема с учетом пересадки существующего здания на буройнъекционные сваи

Для определения эффективности применения пассивных защитных мероприятий – буройнъекционных свай усиления – Ю.А. Готманом были выполнены геотехнические расчеты с помощью программы PLAXIS 2D версии 8.5 с использованием модели упрочняющегося грунта (Hardeningsoilmodel) по определению деформаций основания исторического трехэтажного здания с несущими кирпичными стенами на ленточных фундаментах, примыкающего к котловану проектируемого объекта «Офисный многофункциональный комплекс по ул. 2-я Брестская, д. 50/2 в г. Москве». Рассматривался вариант усиления фунда-

ментов здания буройнъекционными сваями по адресу: Москва, ул. Тверская, д. 2. стр. 1. Расчеты выполнялись на стадии предпроектной проработки пяти вариантов конструктивных и технологических схем устройства подземной части и трех типов устройства фундамента проектируемого многофункционального комплекса.

Пять вариантов трехъярусной распорной системы котлована многофункционального комплекса:

- *первый*: из стальных труб и плит перекрытий подземной части в центре;
- *второй*: из плит перекрытий подземной части с технологическим отверстием в центре;
- *третий*: из плит перекрытий подземной части с технологическими отверстиями в зоне лифтовых шахт, лестничных клеток;
- *четвертый*: трехъярусная распорная система из плоских стальных ферм;
- *пятый*: трехъярусная распорная система из стальных труб.

Три варианта устройства фундамента:

1. Фундаментная плита на естественном основании толщиной 1500 мм.
2. Свайно-плитный фундамент с длиной свай 9 м и диаметром 800 мм.
3. Сваи длиной 13,5 м и диаметром 800 мм с плитным ростверком.

Для каждого варианта варьировались следующие параметры ограждения котлована: толщина «стены в грунте» 600; 800 мм; глубина «стены в грунте» 21; 27 м.

Таблица 1

Результаты геотехнического моделирования на объекте: офисный многофункциональный комплекс по ул. 2-я Брестская, д. 50/2 в Москве

Номер варианта / номер расчета	Варьируемые параметры				Расчетные показатели	
	Глубина ограждения, м	Толщина ограждения, мм	Нижняя берма	Пересадка здания на БИС	Максимальное горизонтальное перемещение ограждения, мм	Осадка здания по адресу: пл. Тверской Заставы, д. 2, стр. 1, мм
1/2	21	600	+	-	17,25	17,14
1/9	21	600	-	+	18,05	6,88
1/8	27	800	+	-	15,01	12,59
1/10	27	800	+	+	13,94	5,23
2/1	21	600	-	-	18,91	17
2/9	21	600	-	+	17,2	6,68
2/8	27	800	+	-	13,58	11,41
2/10	27	800	+	+	12,68	4,63
3/1	21	600	-	-	18,57	16,7
3/9	21	600	-	+	16,59	6,04
3/8	27	800	+	-	13,22	11,01
3/10	27	800	+	+	12,34	4,46
4/1	21	600	-	-	31,18	29,71
4/5	21	600	-	+	26,41	11,89
4/4	27	800	-	-	27,18	24,23
4/6	27	800	-	+	23,61	10
5/1	21	600	-	-	23,23	21,67
5/5	21	600	-	+	20,12	8,52
5/4	27	800	-	-	20,46	16,39
5/6	27	800	-	+	18,27	7,31

Примечание. БИС – буройнъекционные сваи.

Нагрузка на фундамент проектируемого офисного многофункционального комплекса составляла 500 кН/м².

Инженерно-геологические условия площадки строительства представлены водонасыщенными песками различной крупности и плотности, в том числе рыхлыми, подстилаемыми суглинками и глинами, ниже которых залегают известняки. Здание запроектировано с тремя подземными этажами.

Конечно-элементная расчетная схема с учетом пересадки существующего здания на буроинъекционные сваи представлена на рис. 1, результаты расчетов даны в табл. 1.

Дисперсию случайной последовательности величины X_i (отношение осадки здания при пересадке на сваи к осадке без свай) определим по формуле (1)

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}}{n - 1}, \quad (1)$$

при $n = 10$ и $D = 0,04$.

Анализ показал, что максимальная осадка примыкающего здания с усилением его фундаментов буроинъекционными сваями при рассмотренных вариантах распорной системы, глубин «стены в грунте» и типов фундамента строящегося здания составляет в среднем 0,4 от осадки здания без защитных мероприятий при значении дисперсии 0,04.

Расчеты не учитывали технологических осадок, поэтому коэффициент снижения осадки здания, полученный из геотехнического моделирования (0,4), примерно на 20% отличается от определенного из натуральных наблюдений за осадками (0,5).

Для определения эффективности применения пассивных защитных мероприятий – отсечных экранов из труб – для защиты коммуникаций Е.Ю. Трофимовым были проведены геотехнические расчеты по определению влияния строительства автомобильного тоннеля глубиной до 14 м под путями Киевской железной дороги при реконструкции Рябиновой улицы в Москве. Рассматривался участок строительства тоннеля в открытом котловане под защитой распорок из труб. Изополе перемещений грунтового массива показано на рис. 2. Расчеты показали, что устройство в суглинках геотехнического экрана из труб длиной 15 м, диаметром 250 мм, заполненных тощим бетоном, для защиты чугунного водопровода диаметром 600 мм практически не снизило его перемещения, равного 11 мм.

На строительных объектах начали внедряться новые технологии подземного строительства [4], а также выполнения активных методов защиты окружающей застройки. Среди последних следует выделить устройство распорок с домкратами [3], анкеров с дополнительной цементацией грунтов [12], геотехнического барьера методом компенсационного нагнетания [5], закрепление грунтового массива многократным инъецированием в него цементного раствора [6], применение компенсационных буроинъекционных свай [7], технологии струйной цементации [8, 9], инъецирование раствора в заобделочное пространство при проклад-

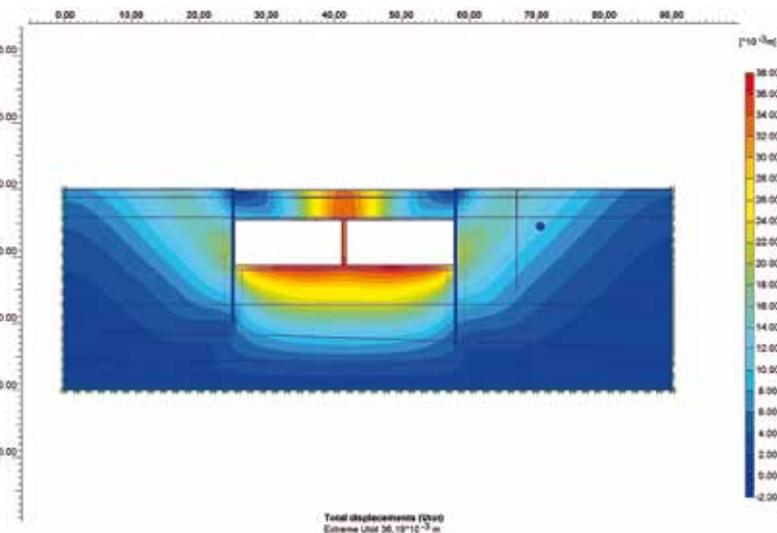


Рис. 2. Изополе общих перемещений грунтового массива при строительстве автоторгового тоннеля на ул. Рябиновой в Москве

Таблица 2
Коэффициент к прогнозируемой осадке окружающей застройки без защитных мероприятий K_c

Тип защитного мероприятия		K_c	
		для зданий	для коммуникаций
Активное	Распорки с домкратами	0,2	–
	Геотехнический барьер	0,1	0,45
	Анкеры с дополнительной цементацией	–	0,55
	Инъецирование смеси в заобделочное пространство коллектора	–	0,2
	Компенсационные сваи усиления	0,1	–
Пассивное	Сваи усиления буроинъекционные	0,45	–
	Отсечной экран из Jet-свай	0,5	–
	Отсечной экран из труб d=219 мм	–	0,95

ке коммуникационных коллекторов [2, 10], устройство на-прягаемых тяжей в надземных конструкциях [11].

В.А. Ильичев и Ю.А. Готман [12] показали, что осадка здания при строительстве многоуровневой подземной автостоянки на площади Тверской заставы и перекладке коммуникации в глубоких траншеях без защитных мероприятий составила 25 мм, а применение активных защитных мероприятий – распорок с домкратами – снижает осадку до 5 мм, т. е. в пять раз.

На объекте «Многофункциональный торгово-развлекательный и административно-офисный комплекс с апартаментами и подземной автостоянкой» по адресу: Москва, ул. Ярцевская, вл. 19 специалисты НИИОСП им. Н.М. Герсеванова выполнили прогноз осадок для применения активного защитного мероприятия – геотехнического барьера. Однако при строительстве фирма «КАСКТАШ» выполнила альтернативное защитное мероприятие – преднапряженные анкеры конструкции SBMA с дополнительной цементацией грунтов через имеющиеся в их конструкции поливинилхлоридные трубы, которое также снизило осадки коммуникаций [3].

Коэффициент снижения осадок коммуникаций при применении геотехнического барьера согласно расчетам составил ~0,3–0,6, а согласно данным измерений осадок при применении анкеров с дополнительной цементацией – ~0,3–0,8.

Вероятно, для достижения большего защитного эффекта количество инъектируемого раствора следовало увеличить.

Устройство вертикального и наклонного геотехнического барьера методом компенсационного нагнетания [5], относящегося ко второй группе активных методов защиты, позволило снизить осадки ближайшего к котловану фундамента здания на пр. Мира в Москве в десять раз: с ~33 до 3 мм, а здания на площадке строящегося Российского федерального имущественного фонда – с ~40 до 4 мм, т. е. коэффициент к осадке зданий без защитных мероприятий при применении геотехнического барьера ~ 0,1.

Активный метод защиты – компенсационные сваи, устраиваемые с опрессовкой, применялись при реконструкции здания Московской консерватории и при устройстве подземного перехода через Варшавское шоссе вблизи бассейна «Труд» [7]. Метод позволил избежать технологических осадок.

Согласно работам [2, 3] закачивание цементного раствора за обделку коммуникационного тоннеля на ул. Грузинский Вал в Москве, проложенного в водонасыщенных рыхлых песках, позволило снизить осадки окружающей застройки в пять раз.

По данным [6], одним из эффективных методов, обеспечивающих сохранность стен зданий окружающей застройки, является устройство напрягаемых тяжей по временной или постоянной схемам. При временной схеме после завершения строительства тяжи демонтируются, что особенно эффективно для памятников истории и культуры. При постоянной схеме тяжи устраиваются в бороздах стен сечением 7×7 см и после преднапряжения омоноличиваются цементно-песчаным раствором и красятся. Применение тяжей позволяет повысить дополнительные предельные деформации для здания.

Для предварительной оценки осадки окружающей застройки при применении активных или пассивных защитных мероприятий S_3 , прогнозируемую величину осадки S , полученную аналитическим методом по формулам, приведенным в [1, 2], или путем численного моделирования, следует принимать с понижающим коэффициентом K_c , приведенным в табл. 2:

$$S_3 = K_c S. \quad (2)$$

Выводы

На основе проведенных геотехнических расчетов, анализа ранее выполненных расчетов и наблюдений за осадками зданий и коммуникаций в зоне влияния подземного строительства были получены коэффициенты снижения прогнозируемой осадки окружающей застройки без защитных мероприятий для различных видов активной и пассивной защиты.

Полученные результаты свидетельствуют, что активные защитные мероприятия гораздо более эффективны по сравнению с пассивными и могут быть рекомендованы для зданий, для которых разрешены наименьшие дополнительные деформации, например зданий исторической застройки, памятников истории, архитектуры и культуры.

Список литературы

1. Мангушев Р.А., Никифорова Н.С., Конюшков В.В., Осokin А.А., Сапин Д.А. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах. М: АСВ, 2013. 256 с.

2. Ilyichev V.A., Nikiforova N.S., Tupikov M.M. Building deformations, induced by shallow service tunnel construction and predictive measures for reducing of its influence. Proc. of the 18th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Challenges and innovations in geotechnics, Paris, 2–6th September, 2013, pp. 1723–1726.
3. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Готман Ю.А., Тупиков М.М., Трофимов Е.Ю. Анализ применения активных и пассивных методов защиты при подземном строительстве // *Жилищное строительство*. 2013. № 6. С. 25–27.
4. Теличенко В.И., Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С., Королевский К.Ю., Король Е.А. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов. М.: АСВ, 2010. 322 с.
5. Petrukhin V.P., Shuljatjev O.A., Mozgacheva O.A. Vertical Geotechnical Barrier Erected by Compensation Grouting // *Proc. 5th Int. Symp. «Geotechnical aspects of underground construction in soft ground»*. Session 3. Amsterdam, the Netherlands, 15–17 June 2005, pp. 69–73.
6. Рытов С.А., Вишняков Ю.В., Овчаренко Р.О. Мероприятия по обеспечению сохранности стен зданий, расположенных в зоне влияния строительства или реконструкции от неравномерных осадок // *Сборник научных трудов № 100 НИИОСП им. Н.М. Герсевича*. 2011. С. 322–326.
7. Петрухин В.П., Шулятьев О.А., Попсуенко И.К., Мозгачева О.А. Опыт устройства буроинъекционных свай при реконструкции Московской консерватории им. П.И. Чайковского // *Сборник научных трудов № 100 НИИОСП им. Н.М. Герсевича*. 2011. С. 267–277.
8. Ильичев В.А., Мангушев Р.А. Строительство подземной части здания Государственного академического Мариинского театра в Санкт-Петербурге // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2010. № 4. С. 2–7.
9. Зуев С.С., Маковецкий О.А., Хусаинов И.И. Применение струйной цементации для устройства подземных частей комплексов // *Жилищное строительство*. 2013. № 9. С. 1–4.
10. Елгаев В.С. Обеспечение безосадочной технологии проходки тоннелей на строительстве участка ст. «Новокошино» – «Новогиреево» в Москве // *Метро и тоннели*. 2012. № 3. С. 37.
11. Ермолаев В.А., Мацегора А.Г. и др. Усиление оснований и фундаментов при строительстве глубоких котлованов в условиях городской застройки // *Проектирование и строительство подземной части нового здания (второй сцены) Государственного академического Мариинского театра: сб. науч. статей // Под общей редакцией В.А. Ильичева, А.П. Ледаева. Р.А. Мангушева*. СПбГАСУ–СПб., 2011. С. 139–146.
12. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Готман Ю.А., Трофимов Е.Ю. Анкеры с дополнительной цементацией как активный метод защиты зданий и коммуникаций в зоне влияния глубоких котлованов // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 35–38.

References

1. Mangushev R.A., Nikiforova N.S., Konyushkov V.V., Osokin A.A., Sapin DA. *Proektirovanie i ustroistvo podzemnykh sooruzhenii v otkrytykh kotlovanakh [Design and construction of underground structures in open pits]*. Moscow: ASV. 2013. 256 p. (In Russian).

2. Ilyichev V.A., Nikiforova N.S., Tupikov M.M. Building deformations, induced by shallow service tunnel construction and predictive measures for reducing of its influence. *Proc. of the 18th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Challenges and innovations in geotechnics*. Paris, 2–6th September, 2013, pp. 1723–1726.
3. Il'ichev V.A. Nikiforova N.S., Gotman Y.A., Tupikov M.M., Trofimov E.J. Analysis of the application of active and passive methods of protection in underground construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 6, pp. 25–27. (In Russian).
4. Telichenko V.I., Zertsalov M.G., Konyuhov D.S., Korolevskiy K.Y., Korol E.A. *Sovremennye tekhnologii kompleksnogo osvoeniya podzemnogo prostranstva megapolisov. [Modern technology integrated underground space development of megacities]*. Moscow: ASV, 2010. 322 p. (In Russian).
5. Petrukhin, V.P., Shuljatjev, O.A., Mozgacheva O.A. Vertical Geotechnical Barrier Erected by Compensation Grouting. *Proc. 5th Int. Symp. «Geotechnical aspects of underground construction in soft ground»*. Session 3. Amsterdam, the Netherlands, 15–17 June 2005, pp. 69–73.
6. Rytov S.A., Vishnyakov Yu.V., Ovcharenko R.O. Measures to ensure the safety of the walls of buildings located in the zone of influence of construction or reconstruction of nonuniform sediment. [*Sbornik nauchnykh trudov No. 100 NIIOSP im. N.M. Gersevanova*] Collection of scientific works No. 100 NIIOSP after N.M. Gersevanova. M.: 2011, pp. 322–326. (In Russian).
7. Petruhin V.P., Shulyatev O.A., Popsuenko I.K., Mozgacheva O.A. Experience the unit root piles under the reconstruction of the Moscow Tchaikovsky Conservatory. [*Sbornik nauchnykh trudov No. 100 NIIOSP im. N.M. Gersevanova*] Collection of scientific works No. 100 NIIOSP after N.M. Gersevanova. M.: 2011, pp. 267–277. (In Russian).
8. Il'ichev V.A., Mangushev R.A. Construction of the underground part of the building of the State Academic Mariinsky Theatre in St. Petersburg. *Bases, foundations and soil mechanics*. 2010. No. 4, pp. 2–7. (In Russian).
9. Zuev S.S., Makovetskii O.A., Khouainov I.I. Application of jet grouting device for underground parts of complexes. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 9, pp. 1–4. (In Russian).
10. Elgaev V.S. Providing non-settlement technology tunneling for the construction «Novokosino» – «Novogireevo» stations in Moscow. *Metro and tunnels*. 2012. No. 3, pp. 37. (In Russian).
11. Ermolaev V.A., Matsegora A.G. Strengthening of the building foundations during deep excavations in urban areas. [*Proektirovanie i stroitel'stvo podzemnoi chasti novogo zdaniya (vtoroi stseny) Gosudarstvennogo akademicheskogo Mariinskogo teatra: sb. nauch. statei pod obshchei redaktsiei V.A. Il'icheva, A.P. Ledyayeva, R.A. Mangusheva*] Design and construction of the underground part of the new building (the second stage) of the Mariinsky Theatre: Collection of scientific papers edited by V.A. Il'ichev, A.P. Ledyayev, R.A. Mangushev. Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet. 2011, pp. 139–146. (In Russian).
12. Il'ichev V.A., Nikiforova N.S., Gotman Y.A., Trofimov E.Y. Anchors with additional grouting as an active method of protecting buildings and infrastructure in the zone of influence of deep pits. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 35–38. (In Russian).



ВИНТОВЫЕ ГРУНТОВЫЕ АНКЕРА

АТЛАНТ

- ПРОИЗВОДСТВО В РОССИИ
- В НАЛИЧИИ НА СКЛАДЕ
- ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УСТАНОВКИ
- ПЕРЕСОГЛАСОВАНИЕ ПРОЕКТОВ

(495) 226-18-37
(342) 200-79-00

info@anker-system.ru
www.anker-system.ru

 АНКЕРНЫЕ СИСТЕМЫ



Реклама

УДК 691:624.72

А.А. ВЕРХОВСКИЙ, канд. техн. наук (V2508@rambler.ru),
А.Н. ЗИМИН, инженер, С.С. ПОТАПОВ, инженер

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21)

Применимость современных светопрозрачных ограждающих конструкций для климатических регионов России

Статья посвящена вопросам использования светопрозрачных ограждающих конструкций (оконных блоков и светопрозрачных фасадных систем) в климатических условиях различных регионов России. Приведены результаты экспериментальных исследований по авторским методикам. Даны предложения по созданию нового комплекса нормативных документов, позволяющих четко и однозначно оценить возможность использования той или иной светопрозрачной ограждающей конструкции в различных климатических регионах России.

Ключевые слова: светопрозрачная ограждающая конструкция, оконный блок, температура, воздухопроницаемость, термические деформации.

A.A. VERKHOVSKY, Candidate of Sciences (Engineering) (V2508@rambler.ru), A.N. ZIMIN, Engineer, S.S. POTAPOV, Engineer
Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

The Applicability Of Modern Translucent Walling For The Climatic Regions Of Russia

The article is devoted to questions of use of the translucent building envelopes (windows and light transmission curtain walls) in climatic conditions of various regions of Russia. Results of experimental studies on author's techniques are given. Offers on creation of a new complex of the normative documents giving the chance accurately and unambiguously to estimate possibility of use of this or that of the translucent protecting designs in various climatic regions of Russia are given.

Keywords: translucent cladding, window, temperature, air leakage, thermal deformation.

Современные светопрозрачные ограждающие конструкции (СОК) начали активно использоваться в России в начале 1990-х гг. Сначала это были в основном оконные блоки из ПВХ профиля, поставляемые в Россию из европейских стран. Требования к оконным блокам, изложенные в действовавшем на тот момент СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника», были невысоки [1, 2] и их успешно перекрывали стандартные оконные блоки в раздельных и спаренных переплетах. Возникшие уже при начале эксплуатации новых конструкций проблемы вынудили зарубежных и отечественных разработчиков профильных систем начать их адаптацию к российским климатическим условиям, а также начать разработку специализированных для условий России конструкций.

Принятая в конце 1990-х – начале 2000-х гг. нормативная база на основные типы оконных блоков и методы испытаний помогла сформировать рынок СОК и предложила классификацию по основным эксплуатационным характеристикам (ГОСТ 23166–99 «Блоки оконные и дверные. Общие технические условия»). При этом требования к условиям эксплуатации оконных блоков практически так и остались за рамками нормативной базы. С точки зрения теплотехнических характеристик все требования к оконным блокам ограничены требованиями таблицы 3 СП 50.13330.2012 (актуализированная версия СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий») и п. 5.7 этого же нормативного документа. Методика оценки энергоэффективности здания, предложенная как этим документом, так и его предшественником (СНиП 23-02–2003 «Теп-

ловая защита зданий»), оперирует только значением приведенного сопротивления теплопередаче.

Вопросы использования конструкции в реальных условиях эксплуатации, вклад его в баланс здания [3] в нашей стране мало изучен. Режим эксплуатации СОК в летнее время, активно исследуемый зарубежными специалистами [3, 4], в нашей стране также не нормируется и практически не исследуется.

В ходе многолетней работы по техническому сопровождению и судебно-экспертной деятельности, мы столкну-



Рис. 1. Внешний вид образца с датчиками температуры и тепловых потоков, установленного в проем климатической камеры КТК-2009

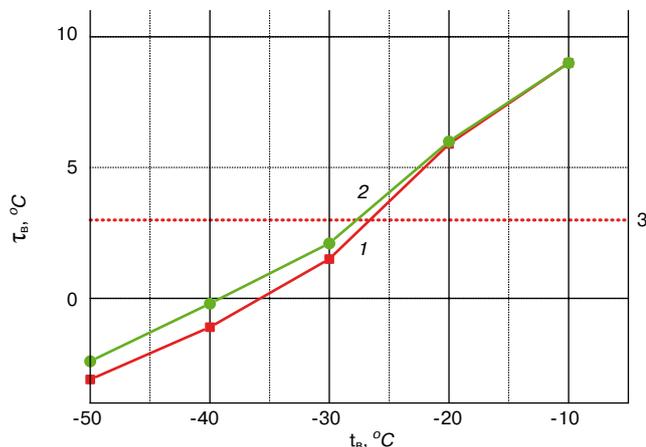


Рис. 2. Зависимость минимальной температуры на внутренней поверхности стеклопакета от наружной температуры. Температура на внутренней поверхности стеклопакета: 1 – в створке; 2 – в глухой части

лись с фактами существенного изменения эксплуатационных характеристик СОК, зачастую делающих невозможным их эксплуатацию. Был разработан комплекс исследовательских методик и уникального оборудования [5, 6] и проведены исследования оконных блоков из ПВХ профиля [7] и профилей алюминиевых сплавов, а также нескольких типов светопрозрачных фасадных конструкций.

В ходе исследований было выявлено, что необходимо оценивать применимость каждого типа СОК по следующим параметрам:

1. Приведенное сопротивление теплопередаче для регионов строительства. Испытания необходимо и целесообразно проводить для всего диапазона эксплуатационных температур наружного воздуха ($t_{н} = 0 - -55^\circ\text{C}$) [8].
2. Минимальная температура на внутренних поверхностях светопрозрачного и непрозрачного заполнений СОК [8].
3. Термические деформации профильной системы [9].
4. Воздухопроницаемость конструкции при эксплуатационном перепаде температур [7].

Ограничиваться оценкой эксплуатационных характеристик, изложенных в ГОСТ 23166 «Блоки оконные и дверные. Общие технические условия» и [10], нецелесообразно, а с точки зрения государственного подхода и преступно.

На рис. 1 представлена фотография оконного блока из профиля из алюминиевых сплавов одного из ведущих европейских производителей, установленного в проем климатической камеры КТК-2009 [6]. Для данного оконного блока размером 2510×2468 мм с двухкамерным стеклопакетом СПД 6И-14Ar-43-14Ar-И63 (6TopN+#2..-14ммTGI.AR-4.Прит.Зак.-14ммTGI.AR - 6TopN+#5) был проведен весь комплекс исследований по определению диапазона его применимости.

После предварительной оценки термически однородных зон и участков с минимальными значениями температур на внутренней поверхности были установлены датчики температуры теплового потока. На внутреннюю поверхность рамы, створки и импоста установлены датчики линейных перемещений, позволяющие контролировать термические деформации элементов конструкции.



Рис. 4. Нижний участок оконного блока из профилей алюминиевых сплавов при $t_{н} = -50^\circ\text{C}$

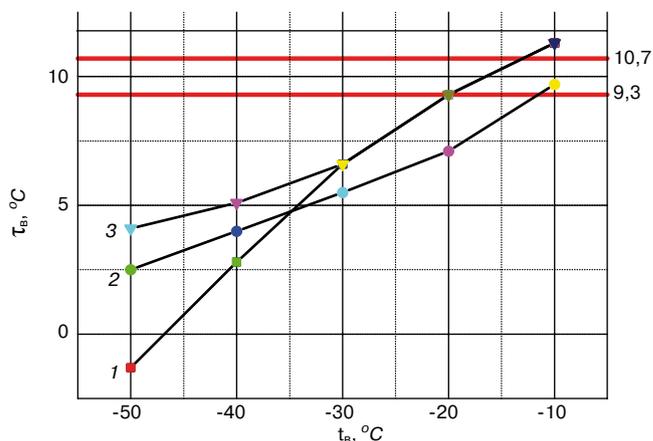


Рис. 3. Зависимость минимальной температуры на внутренней поверхности оконного блока из профилей алюминиевых сплавов. Температура на внутренней поверхности рамы: 1 – открывающегося элемента; 2 – глухого элемента; 3 – открывающегося элемента

Согласно результатам теплотехнических испытаний в соответствии с ГОСТ 54861–2011 «Окна и наружные двери. Методы определения сопротивления теплопередаче» блок оконный из профилей алюминиевых сплавов в диапазоне температур наружного воздуха $t_{н} = 0 - -30^\circ\text{C}$ имеет приведенное сопротивление теплопередаче выше $R_{0}^{пр} > 0,8 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ и согласно таблице СП 50.13330.2012 (актуализированная версия СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий») и может быть применен для жилых и общественных зданий на всей территории России. Одновременно уже при температуре наружного воздуха $t_{н} = -27^\circ\text{C}$ температура на внутренней поверхности стеклопакета $\tau_{в}$ ниже 3°C (рис. 2), температура на внутренней поверхности открывающейся части выше температуры точки росы при $t_{н} \geq -20^\circ\text{C}$, а на внутренней поверхности неоткрывающейся части при $t_{н} \geq -11^\circ\text{C}$ (рис. 3). Таким образом, согласно п. 5.7 того же нормативного документа для жилых и общественных зданий данный оконный блок может быть использован при температуре наружного воздуха $t_{н}$ не ниже -12°C .

В каком состоянии будет данный оконный блок при температуре наружного воздуха $t_{н} \geq -50^\circ\text{C}$, показано на рис. 4–5.

Конечно же, режим выпадения конденсата и образования наледи на внутренней поверхности



Рис. 5. Зазор между профилем створки и профилем рамы в центральной части оконного блока

оконного блока существенно зависит от температурно-влажностного режима внутреннего воздуха, эффективности работы систем вентиляции и расположения отопительных приборов. Однако термические деформации рамы и створки, приводящие практически к сквозным зазорам между открывающимися элементами конструкции (рис. 5), могут существенно повлиять на режим инфильтрации-эксфильтрации через оконный блок, существенно снизить энергоэффективность конструкции, сделать проживание в помещениях с такими оконными блоками невозможным по несоблюдению условий комфортности.

На рис. 6 приведен график зависимости абсолютного значения термических деформаций профилей створки и рамы блока оконного, а на рис. 7 – график зависимости разности абсолютных значений термических деформаций профилей створки и рамы той же конструкции.

В настоящее время нормативного документа, регламентирующего максимальные значения термических деформаций прозрачных систем светопрозрачных ограждающих конструкций, в России не существует.

Максимальный относительный прогиб от воздействия ветровой нагрузки, регламентированный ГОСТ 23166–99, составляет 1/300 от размера конструкции. Поскольку требования к предельной термической деформации в данный момент отсутствуют, в качестве реперной точки можно использовать данное требование, а также требование максимального абсолютного прогиба 6 мм.

Как видно из результатов эксперимента, абсолютный прогиб створки 6 мм, соответствующий значениям ветрового давления $\Delta P = 1200$ Па, возникает при температуре наружного воздуха $t_n = -29 - -30^\circ\text{C}$, что соответствует градиенту температуры между наружным и внутренним воздухом $\Delta t = 49-50^\circ\text{C}$.

Максимальная термическая деформация, соответствующая 1/300 высоты конструкции (8,37 мм), наступает при температуре наружного воздуха $t_n = -49^\circ\text{C}$, а соответствующая 1/300 ширины конструкции (8,23 мм) наступает при температуре наружного воздуха $t_n = -46^\circ\text{C}$, что соответствует градиенту температуры между наружным и внутренним воздухом $\Delta t = 66-69^\circ\text{C}$.

Определить критерий оценки предельных термических деформаций для различных климатических регионов России еще только предстоит на основе набора дополнительной экспериментальной статистики.

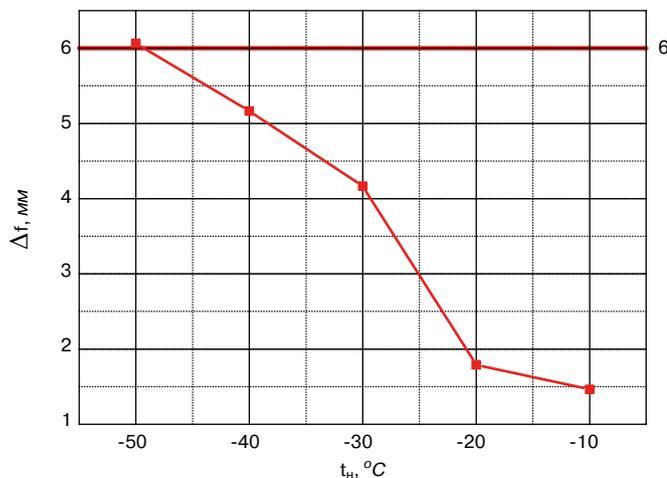


Рис. 7. Зависимость разности абсолютных значений термических деформаций профилей створки и рамы оконного блока

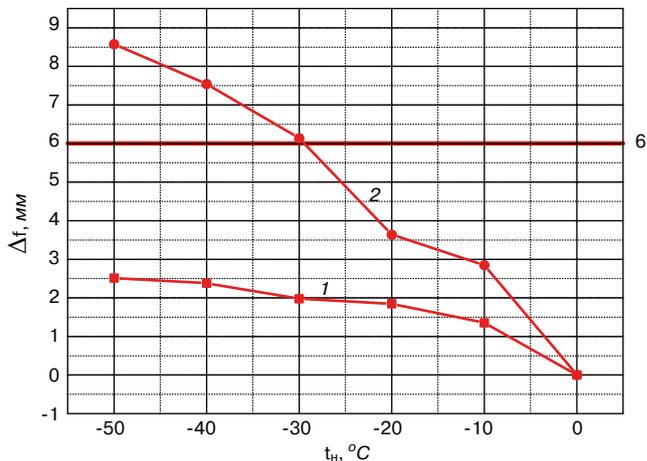


Рис. 6. Зависимость абсолютного значения термических деформаций профилей створки (1) и рамы (2) оконного блока

Таким образом, по воздействию на блок оконный из профилей алюминиевых сплавов термическая деформация при отрицательных температурах, соответствующих климатическим условиям Центральной России, сопоставима с воздействием ветрового давления для высотных зданий.

Оценка изменения воздухопроницаемости блока оконного производилась при наружной температуре воздуха: $t_n = -0^\circ\text{C}; -10^\circ\text{C}; -20^\circ\text{C}; -30^\circ\text{C}; -40^\circ\text{C}; -50^\circ\text{C}$.

Замеры проводились одновременно с замерами термических деформаций после выхода конструкции на стационарный режим. Замеры проводились для перепадов давления $\Delta p = 10-200$ Па. Результаты измерений объемной воздухопроницаемости при различных значениях температуры наружного воздуха при пошаговом замере воздухопроницаемости приведены на рис. 8.

Как видно из результатов испытаний, при повышении градиента температуры между наружным и внутренним воздухом воздухопроницаемость конструкции возрастает в 2,7–10 раз для различных типов конструкции.

Таким образом, несостоятельность существующей системы стандартизации и регламентирования параметров СОК для различных регионов строительства России можно считать доказанной. Возникает насущная необходимость

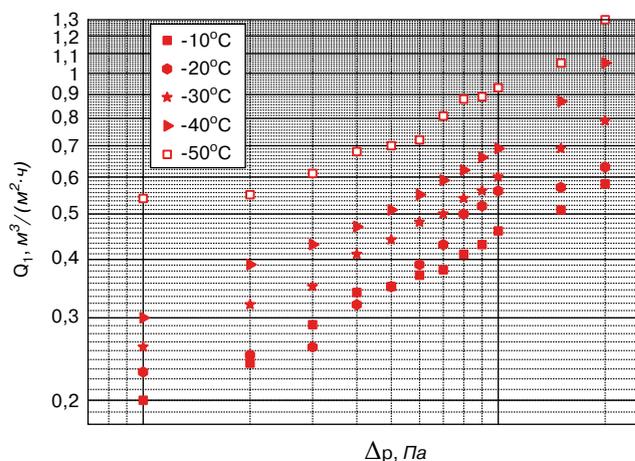


Рис. 8. Зависимость объемной воздухопроницаемости при различной наружной температуре воздуха

разработки нового нормативного документа (СП, Рекомендаций по проектированию), учитывающего накопленный опыт эксплуатации различных типов конструкций и инновационные разработки НИИСФ РААСН.

Список литературы

1. Groshkov A.S., Livchak V.I. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 3 (30). С. 7–37.
2. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботарев А.Г. Развитие методов нормирования теплозащиты энергоэффективных зданий // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 19–23.
3. John Carmody, Stephen Selkowitz, Dariush Arasteh, Liza Hescong. Residential Windows // *W.W.Noton&Company*. NewYork. London. 2000. 232 с.
4. Oesterle Lieb, Lutz Heusler. Double-Skin Fasades // *Prestel Verlag*, Munich, 2001. 207 с.
5. Патент на изобретение РФ №2445610. *Способ определения воздухопроницаемости строительных ограждающих конструкций* / Верховский А.А., Шубин И.Л., Шеховцов А.В. Заявл. 15.12.2010. Оpubл. 20.03.2012. Бюл. № 8.
6. Патент на полезную модель РФ № 105998 РФ. *Стенд для измерения сопротивления теплопередаче строительных ограждающих конструкций, оснащенный передвижной кассетой для установки образца* / Шубин И.Л., Верховский А.А., Шеховцов А.В., Нанасов И.М., Крымов К.С. Заявл.15.12.2010. Оpubл. 27.06.2011.
7. Andrey Shehovtsov, Alexey Verhovskiy. AirPermeability of a PVC-Window When Exposed to Freezing Temperatures // *Материалы Международной конференции GLASS PERFORMANCE DAYS*, 2011. С. 90–93.
8. Верховский А.А., Шеховцов А.В., Нанасов И.М., Энергоэффективность высотных зданий // *Высотные здания*. Октябрь–ноябрь. 2011. С. 96–101.
9. Власенко Д. В. Почему коробит окна, или Зачем нужна армировка // *Оконная и фасадная практика*. 2008. № 4–5.
10. Белоедов А.Ю., Карявкин А.В., Тихонов А.Ю. Европейские подходы к оценке качества, проектированию и монтажу светопрозрачных конструкций // *Светопрозрачные конструкции*. 2013. № 3 (89). С. 53–60.
5. Patent RF 2445610. *Sposob opredelenija vozduhopronicaemosti stroitel'nyh ograzhdajushhih konstrukcij* [Air permeability determination method for the building envelopes]. Verhovskij A.A., Shubin I.L., Shehovcov A.V. Declared 15.12.2010 . Published 20.03.2012. Bulletin No. 2. (In Russian).
6. Patent RF 105998. *Stend dlja izmerenija soprotivlenija teploperedache stroitel'nyh ograzhdajushhih konstrukcij, osnashhjonnyj peredvizhnoj kassetoj dlja ustanovki obrazca* [The stand for thermal resistance measurement of the building envelopes equipped with the mobile cartridge for installation of a sample]. Shubin I.L., Verhovskij A.A., Shehovcov A.V., Nanasov I.M., Krymov K.S. Declared 15.12.2010. Published 27.06.2011. (In Russian).
7. Andrey Shehovtsov, Alexey Verhovskiy. *AirPermeability of a PVC-Window When Exposed to Freezing Temperatures: Materialy Mezhdunarodnoj konferencii*. Tampere: GLASS PERFORMANCE DAYS, 2011, pp. 90–93.
8. Verhovskij A.A., Shehovcov A.V., Nanasov I.M., Energy efficiency of tall buildings, *Vysotnye zdanija*. 2011, No. 5–6. pp. 96–101. (In Russian).
9. Vlasenko D.V., Why windows are deformed, or reinforcing why is necessary, *Okonnaja i fasadnaja praktika*. 2008. No. 4–5. (In Russian).
10. Beloedov A.Ju., Karjavkin A.V., Tihonov A.Ju. European approaches to a quality assessment, design and installation of translucent designs, *Svetoprozrachnye konstrukcii*. 2013. No. 3 (89), pp. 53–60. (In Russian).

References

1. Groshkov A.S., Livchak V.I. History, evolution and development of normative requirements for building envelopes. *Stroitelstvo unikalnih zdanii i sooruzenij*. 2015. No. 3 (30), pp. 7–37. (In Russian)
2. Umnjakova N.P., Butovskij I.N., Chebotarev A.G. Development of methods of normalization of a thermal protection of energy-efficient buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 7, pp. 19–23. (In Russian).
3. John Carmody, Stephen Selkowitz, Dariush Arasteh, Liza Hescong. Residential Windows. London: *W.W. Noton&Company*. 2000. 232 p.
4. Oesterle Lieb., Lutz Heusler., Double-Skin Fasades. Munich: *Prestel Verlag*. 2001. 207 p.

Подписка на электронную версию



Актуальная информация для всех работников
строительного комплекса

СТРОИТЕЛЬСТВО

<http://ejournal.rifsm.ru/>

УДК 533.6.07

О.О. ЕГОРЫЧЕВ, инженер (olegolege92@gmail.com), П.С. ЧУРИН, инженер
Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское ш., 26)

Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на высотные здания*

Бурное развитие высотного строительства в конце XX – начале XXI в. заставило отечественных проектировщиков и архитекторов с большим вниманием относиться к расчету нагрузок на здание, и в особенности к исследованию воздействия ветровых нагрузок. Действующие нормативные документы регламентируют проведение экспериментальных аэродинамических исследований высотных зданий и сооружений в специализированных аэродинамических трубах архитектурно-строительного типа. В данной статье описано проведение такого эксперимента на примере исследования аэродинамики проектируемого жилого комплекса в Москве. Рассматривается определение результирующих аэродинамических сил и моментов на высотные строения жилого комплекса в турбулентном потоке, а также средних и пиковых значений аэродинамических коэффициентов давления в контрольных точках, расположенных на поверхности этих строений. Приведены характеристики изготовленного макета и результаты проведенных испытаний.

Ключевые слова: аэродинамика, аэродинамическая труба, аэродинамические коэффициенты, сило-моментные датчики, дифференциальные датчики давления.

O.O. EGORYCHEV, Engineer (olegolege92@gmail.com), P.S. CHURIN, Engineer,
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

Experimental Study of Wind Loads on High-Rise Buildings

The rapid development of high-rise construction in the end of XX – beginning of XXI century forced domestic architects and designers to pay great attention to the calculation of loads on the building, and in particular to study the impact of wind loads. Acting normative documents regulate the conduction of experimental aerodynamic studies of high-rise buildings and structures in specialized wind tunnels of an architectural-construction type. This article describes the conduction of such experiment on the example of studying the aerodynamics of a designed residential estate in Moscow. The definition of resultant aerodynamic forces and moments on high-rise buildings of the residential complex in a turbulent flow, as well as average and peak values of the aerodynamic pressure coefficients at the control points located on the surface of these structures is considered. The characteristics of the fabricated model and the results of conducted tests are presented.

Keywords: aerodynamics, wind tunnel, force-moment sensors, differential pressure sensors.

Строительство высотных зданий и сооружений в России началось в середине XX в., когда были построены так называемые «семь сестер», или сталинские высотки Москвы. Бурное развитие этой отрасли строительства в конце XX – начале XXI вв. заставило отечественных проектировщиков и архитекторов с гораздо большим вниманием относиться к расчету нагрузок на здание, и в особенности к исследованию воздействия ветровых нагрузок [1–3].

Действующие нормативные документы регламентируют проведение экспериментальных аэродинамических

исследований высотных зданий и сооружений в специализированных аэродинамических трубах архитектурно-строительного типа [2, 4, 5]. В данной статье мы подробно остановимся на проведении такого эксперимента на примере исследования аэродинамики проектируемого жилого комплекса в Москве (рис. 1).

Исследования выполнялись на базе Учебно-научно-производственной лаборатории по аэродинамическим и аэроакустическим исследованиям строительных конструкций Московского государственного строительного университета в большой градиентной аэродинамической трубе.

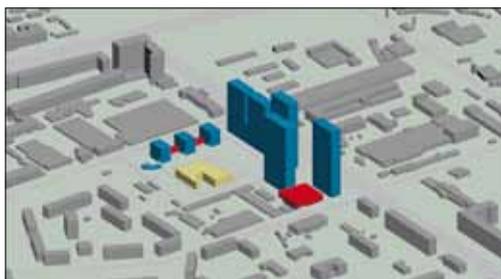


Рис. 1. Жилой комплекс и окружающая застройка



Рис. 2. Модель жилого комплекса



Рис. 3. Лазерный комплекс Qualitech 9G 530 IV

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения государственного задания ФГБОУ ВПО «МГСУ» № 2014/107, проект «Фундаментальные исследования ветровых воздействий (в том числе экстремальных) на уникальные здания и сооружения, а также мостовые конструкции», а также гранта №СП-3245.2015.1.

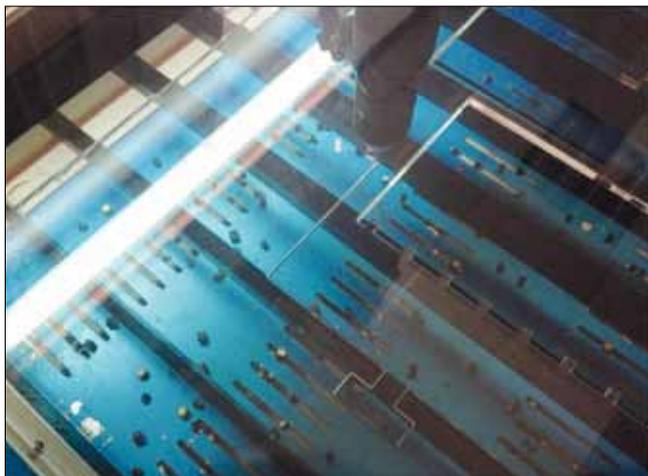


Рис. 4. Процесс изготовления деталей модели

Целью проведения экспериментальных исследований являлось определение результирующих аэродинамических сил и моментов на высотные строения жилого комплекса в турбулентном потоке, а также средних и пиковых значений аэродинамических коэффициентов давления в контрольных точках, расположенных на поверхности этих строений. Обязательными условиями при проведении подобных исследований является учет объемно-планировочных решений проектируемого объекта, характера местности и возможного влияния близкорасположенных зданий, а также метеорологической информации в районе строительства [6].

Исследуемый комплекс является комплексом зданий с достаточно сложными объемно-планировочными и конструктивными решениями, не имеющими прямых аналогов в СНиП 2.01.07–85* «Нагрузки и воздействия». Важной особенностью является компактное расположение зданий с возможным проявлением «туннельного» эффекта при некоторых направлениях ветра и сложный трехмерный характер обтекания при всех направлениях.

Для экспериментальных исследований разработана и изготовлена модель жилого комплекса (рис. 2). Учитывая площадь сечения рабочей части аэродинамической трубы – 2,5×4 м, был выбран максимально возможный из условий

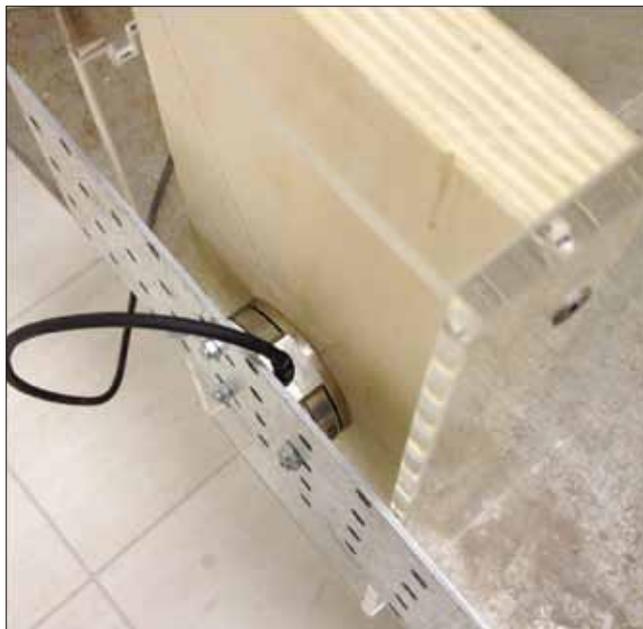


Рис. 5. Монтаж сило-моментных датчиков

загромождения потока масштаб макетов 1:150. Исследуемые модели устанавливались на автоматизированный поворотный стол, располагающийся в рабочей зоне аэродинамической трубы [7].

Элементы строений изготавливались из оргстекла по архитектурным чертежам на специализированном лазерном комплексе Qualitech 9G 530 IV (рис. 3–4). Готовые детали склеивались химически чистым дихлорэтаном.

На стадии изготовления модели в высотные корпуса были встроены шестикомпонентные сило-моментные датчики (рис. 5), используемые для измерения результирующих аэродинамических сил и моментов [8].

Модель имеет на поверхности точки сбора давления (рис. 6). От каждого отверстия давление по медным, а затем по силиконовым трубкам передается на дифференциальные датчики давления.

Основной цикл измерений выполнен при скорости потока $V_{\infty}=20$ м/с, что соответствует $Re=0,29 \cdot 10^6$. Это значе-

Номер точки	Давление для каждой дренажной точки модели, Па							
	Угол атаки							
	0	45	90	135	180	225	270	315
1	122,6	-68,6	-55,8	-136,1	-222,7	-300	-257,8	212,4
2	149,9	105,9	-109,2	-139,1	-243,9	-346,4	-98,7	12,2
3	-218,7	-0,2	2,9	88,4	-256,7	-368,2	-106,8	-240
4	-208,6	-356,6	-181,3	-67,5	-82,2	-43,9	-66,5	-207,1
5	-200,9	-303	-61,7	-128,6	174	220,9	-202,3	-126,7
6	-214,6	-279,7	-63,1	-143,2	-243,8	18,3	259,4	79,9
7	232,6	91,5	-44,6	-126,2	-235,9	-268	-144,3	179,9
8	-238,7	83,7	20,3	132,2	-267,2	-253,1	-77,4	-214,6
9	-236,4	-266	-85,4	-119,5	293,3	223	-95,5	-112,8
10	-213,3	-180	-60,3	-123,4	-238,8	15,6	253,4	81,9
11	128	27,8	-69,8	-120,5	-251,3	-208,3	-129,8	123,6
12	-249	-299,6	-53,3	-51,8	161,1	131,2	-44,8	-190,1
13	263,9	109,5	-44,2	-132,1	-233,8	-314,1	-153,1	191,3
14	179,1	62,4	-53,6	-123,3	-243,4	-228	-136,3	158,6
15	160,2	-1	-52,3	-133,4	-239,3	-311	-141,4	83,5

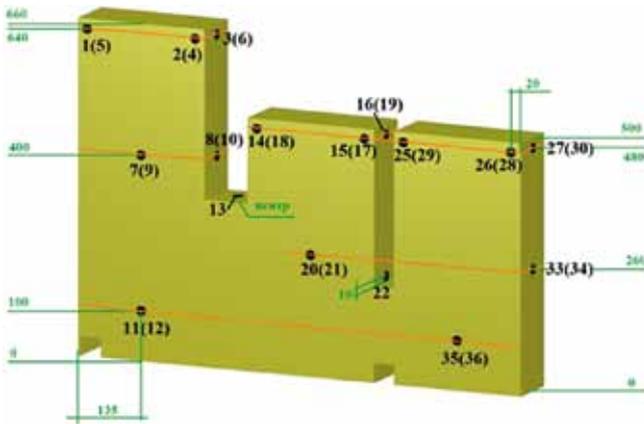


Рис. 6. Расположение точек сбора давления на поверхности модели

ние Re находится в зоне автомодельности. Иными словами, безразмерные аэродинамические коэффициенты масштабной модели жилого комплекса, полученные в аэродинамической трубе, должны быть идентичны соответствующим величинам в натуральных условиях (естественно, при соблюдении геометрического подобия модели). На рис. 7 приведены полученные графики зависимости аэродинамических коэффициентов от угла атаки для одного из высотных строений исследуемого комплекса.

На данном графике видно, что максимальные нагрузки возникают при углах обдува 0° и 200° ($C_x=1,098$ и $C_x=-1,103$ соответственно) и при углах обдува 40° и 240° ($C_y=0,423$ и $C_y=-0,583$ соответственно).

Список литературы

1. Гувернюк С.В., Егорычев О.О., Исаев С.А., Корнев Н.В., Поддаева О.И. Численное и физическое моделирование ветрового воздействия на группу высотных зданий // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3–1. С. 185–191.
2. Aly A.M. Atmospheric boundary-layer simulation for the built environment: Past, present and future // *Building and Environment*, 75 (2014), pp. 206–221.
3. Günel M.H., Ilgin H.E. Tall Buildings: Structural Systems and Aerodynamic Form. Routledge. 2014. 214 p.
4. Буслаева Ю.С., Грибач Д.С., Поддаева О.И., Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на многофункциональный высотный жилой комплекс // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2014. № 6. С. 58–62.
5. Andrienne T., Denoel V. Statistical analysis of velocity measurements in an atmospheric boundary layer in wind tunnel. *11th biennial conference of the Wind Engineering Society*. 2014. Birmingham (UK).
6. Повзун А.О., Бузун Н.И., Зимин С.С. Ветровая нагрузка на здания и сооружения // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 3 (30). С. 70–78.
7. Егорычев О.О., Поддаева О.И., Чуринов П.С. Проектирование макетов уникальных зданий и сооружений в экспериментальной аэродинамике // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014. № 5. С. 332–335.
8. Chen X., Kwon D.K., Kareem A. High-frequency force balance technique for tall buildings: a critical review and some new insights. *Wind and Structures*, Vol. 18, No. 4 (2014), pp. 391–422.

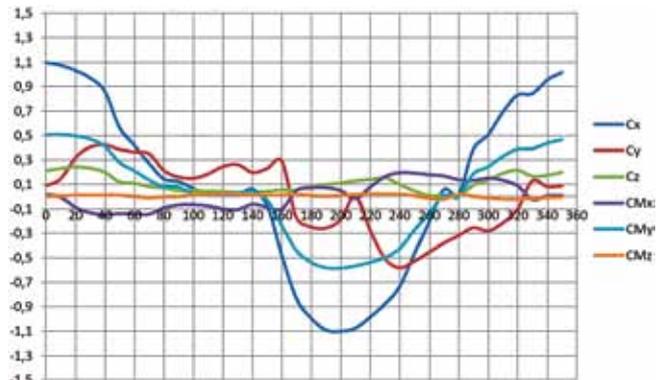


Рис. 7. График зависимости аэродинамических коэффициентов C_x , C_y , C_z , C_{mx} , C_{my} , C_{mt} при изменении угла атаки от 0° до 350° для корпуса № 1

Средние и пиковые значения аэродинамических коэффициентов давления в контрольных точках, расположенных на поверхности этих строений, определялись с использованием системы обработки данных National Instruments и дифференциальных датчиков давления Honeywell.

В таблице приведены осредненные значения показаний давления для каждой дренажной точки модели.

Проведение данных испытаний позволяет получить уточненные аэродинамические коэффициенты, а следовательно, более точно рассчитать ветровую нагрузку с учетом тех факторов, которые не рассматриваются в типовых вариантах, представленных в действующих нормативных документах.

References

1. Guvernyuk S.V., Egorychev O.O., Isaev S.A., Kornev N.V., Poddaeva O.I. Numerical and physical modeling of wind effects on a group of high-rise buildings. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3–1, pp. 185–191. (In Russian).
2. Aly A.M. Atmospheric boundary-layer simulation for the built environment: Past, present and future/ *Building and Environment*, 75 (2014), pp. 206–221.
3. Günel M.H., Ilgin H.E. Tall Buildings: Structural Systems and Aerodynamic Form. Routledge. 2014. 214 p.
4. Buslaeva Yu.S., Gribach D.S., Poddaeva O.I., Experimental study of wind loads on high-rise multi-residential complex. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2014. No. 6. pp. 58–62. (In Russian).
5. Andrienne T., Denoel V. Statistical analysis of velocity measurements in an atmospheric boundary layer in wind tunnel. *11th biennial conference of the Wind Engineering Society*. 2014. Birmingham (UK).
6. Povzun A.O., Buzun N.I., Zimin S.S. Wind load on buildings and structures. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*, 2015, No. 3, pp. 70–78. (In Russian).
7. Egorychev O.O., Poddaeva O.I., Churin P.S. Designing layouts unique buildings and structures in the experimental aerodynamics. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2014. No. 5, pp. 332–335. (In Russian).
8. Chen X., Kwon D.K., Kareem A. High-frequency force balance technique for tall buildings: a critical review and some new insights. *Wind and Structures*, Vol. 18, No. 4 (2014), pp. 391–422.

УДК 534

Д.М. БЕНОВ¹, инженер (benov@benov.org); Н.Д. НИКОЛОВ², инженер;
И.Л. ШУБИН³, д-р техн. наук; М.Г. МАЖДРАКОВ⁴, инженер

¹ ООО БЕНОВИ ИНЖЕНЕРИНГ (1000, Болгария, София, ул. Скомбриус, 58)

² АО ГАРАНТ ИНВЕСТ (6600, Болгария, Кырджали, ул. Волга, 4)

³ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21)

⁴ ГГУ «Св. Йоан Рилский» (1700, Болгария, София, ул. проф. Боян Каменов, 1)

Автоматизация вычислений в акустике городской среды

Акустические явления в городской среде описываются при помощи сложных математических моделей, в основе которых лежат уравнения распространения звуковых волн в свободном и/или застроенном пространстве. Это приводит к необходимости разработки соответствующего вычислительного аппарата. По традиции, проблема решается с помощью так называемых «инженерных расчетов». Анализ этого метода указывает на необходимость его быстрой (радикальной) или поэтапной замены на автоматизированные вычисления с помощью соответствующих программ, включая и автоматизированные системы для акустических вычислений. На основе проведенных исследований нами разработан ряд программ для персонального компьютера. Авторы представляют разработку CAD – базированную систему для автоматизированных акустических вычислений Urban Acoustics, заменяющую традиционные способы вычислений, такие как номограммы, таблицы и т. п. Работа предложенной системы основывается на создании общей цифровой модели, которая включает отдельные модели для урбанизированной территории, для поверхности участка и для акустических явлений.

Ключевые слова: акустические расчеты, автоматизированная система.

D.M. BENOVA¹, Engineer (benov@benov.org); N.D. NIKOLOV², Engineer;
I.L. SHUBIN³, Doctor of Sciences (Engineering); M.G. MAZHDRAKOV⁴, Engineer

¹ ООО BENOVI ENGINEERING (58, Skombrius Street, 1000, Sofia, Bulgaria)

² АО GARANT INVEST (4, Volga Street, 6600, Kardzhali, Bulgaria)

³ Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivny Passage, 127238, Moscow, Russian Federation)

⁴ MGU «St. Ivan Rilski» (1, Prof. Boyan Kamenov Street, 1700, Sofia, Bulgaria)

Automation of Calculations in Acoustics of Urban Environment

Acoustic phenomena in the urban environment are described with the help of complex mathematical models, their basis is equations of propagation of sound waves in the free and/or built-up space. This leads to the need to develop appropriate computing equipment. By tradition, this problem is solved with the help of so-called «engineering calculations». The analysis of this method shows the need for its quick (radical) or stage-by-stage replacement with automated calculations with the help of appropriate programs including automated systems for acoustic calculations. On the basis of conducted studies we have developed a number of programs for a personal computer. The authors present the development of CAD – a based system for automated acoustic calculations Urban Acoustics, which replaces traditional calculation methods, such as nomograms, tables, et.al. The operation of the system proposed is based on the creation of a general numerical model, which includes separate models for the urbanized territory, for the site surface, and for acoustic phenomena.

Keywords: acoustic calculations, automated systems.

Акустические явления в городской среде описываются при помощи сравнительно сложных математических моделей, в основе которых лежат уравнения о распространении звуковых волн в свободном и/или застроенном пространстве. Это приводит к необходимости разработки соответствующего вычислительного аппарата. По традиции проблема решается с помощью так называемых «инженерных расчетов».

Инженерные расчеты представляют собой отдельный класс вычислительных методов, широко используемый на практике при вычислениях для проектов, управления и т. п. Инженерные вычисления используются в акустике [1–5], при этом указываются их некоторые характерные черты.

Опишем следующие характерные черты инженерных расчетов [4]:

1. Инженерные расчеты базируются на рабочих формулах, полученных при упрощении строгих решений с определенными допущениями, статистической обработке аку-

стических замеров в экспериментальных и/или реальных условиях и т. д.

2. Для инженерных расчетов классического вида не нужны особенно мощные вычислительные средства.
3. Полученные решения, как правило, приближительны.

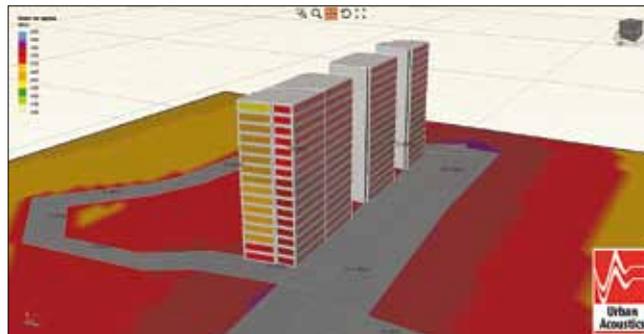


Рис. 1. Уровень шума на фасадах зданий



Рис. 2. Определение шумовой характеристики от источника шума (автомобильный поток) с помощью софтвера Urban Acoustics и вероятностным анализом по методу «Монте Карло»

4. Инженерные расчеты разработаны экспертами и для экспертов.
5. Вычисления происходят перед глазами специалиста, благодаря чему он может оценить воздействие отдельных факторов на конечный результат.

Описанные негативные стороны данного метода показывают необходимость его быстрой (радикальной) или поэтапной замены на автоматизированные вычисления с помощью соответствующих программ, включая и автоматизированные системы для акустических вычислений (Н. Николов. Пакет прикладных программ для акустических расчетов Sound BG. 2009).

Предлагаем краткое описание требований к программному обеспечению. На первом месте, естественно, качество заложенных в программные модули алгоритмов. Большое значение имеет также качество и так называемая «дружелюбность» программного обеспечения – легкий доступ, эргономичный выход, защита от формальных и логических ошибок при вводе данных. Автоматизация ни в коем случае не может быть сведена лишь до перекодировки известных формул от программных операторов.

Компьютерные технологии меняют содержание труда специалистов. Рутинные расчеты и чертежи выполняют соответствующие машины. За счет этого появляется возможность увеличить количество входных данных, а также разработать и оценить многочисленные варианты возможных решений. Это учитывается составителями программных модулей и систем, которые создают эргономичные процедуры входа-выхода и снабжают программы подходящей документацией, вплоть до так называемых «вспомогательных окошек». Кроме того, эффективное использование программ предполагает и соответствующее обучение для получения знаний по алгоритму и толкованию результатов.

На основе проведенных исследований разработан ряд программ для персонального компьютера. Наша разработка – CAD-базируемая система для автоматизированных акустических вычислений Urban Acoustics, заменяющая традиционные способы вычислений, такие как номограммы, таблицы и т. п. (рис. 1).

Работа этой системы основывается на создании общей цифровой модели, которая включает отдельные модели для урбанизированной территории, для поверхности участка и для акустических явлений.

Цифровая модель урбанизированной территории чаще всего берется из кадастра. При проектировании новых или ремонте уже существующих транспортных артерий цифровая модель должна обогатиться данными от дополнительной геодезической разведки или

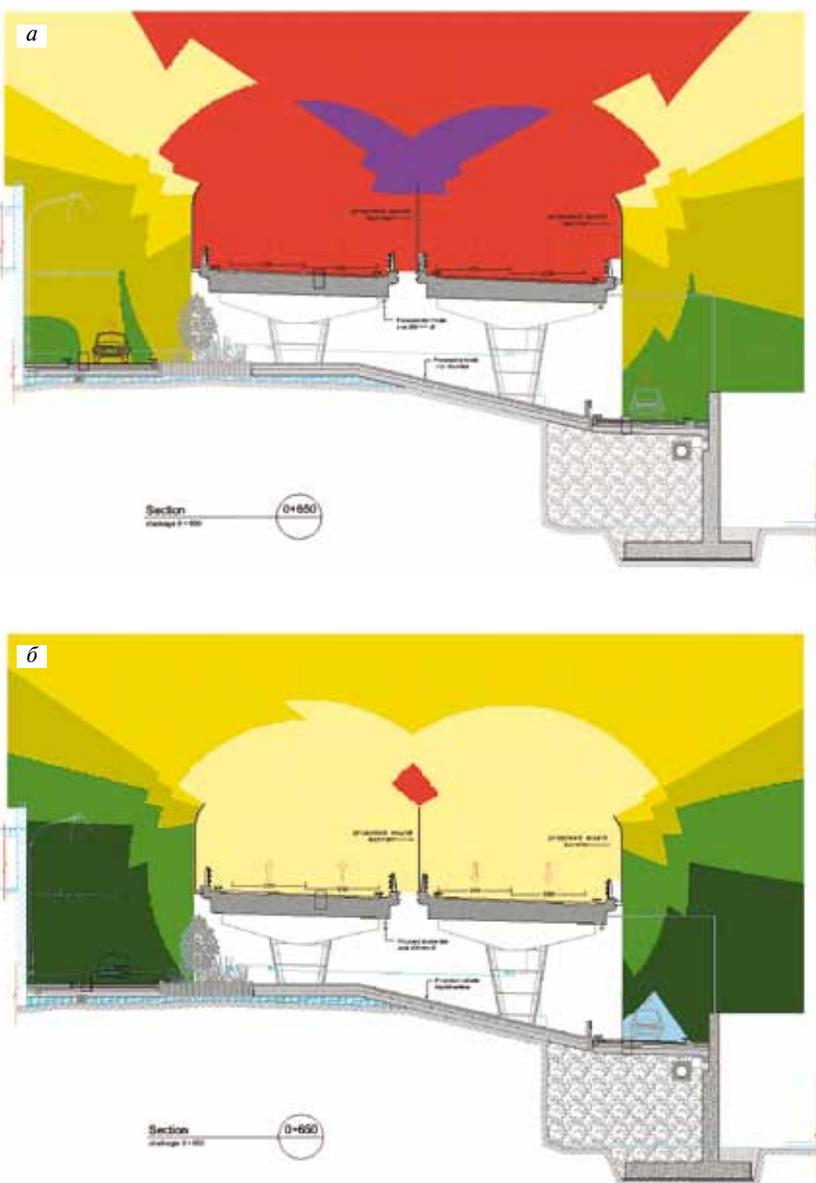


Рис. 3. 2D-модель – поперечное сечение виадука с транспортными шумозащитными экранами: а – при дневном трафике; б – при ночном трафике

данными от проекта. Модель может пополниться и данными с онлайн картографических ресурсов типа Google Maps, Bing Maps и т. п.

Отсутствие информации о высоте над уровнем моря может стать проблемой при создании цифровой модели урбанизированной территории. Геодезический снимок, или проект транспортной артерии, обычно включает только территорию сервитута сооружения, но не предоставляет достаточно данных о расположении зданий (защищаемых объектов) в пространстве.

Поэтому для интерпретации в 3D-пространстве можно использовать спутниковые изображения, дополняющие информацию об участке около защищаемых объектов.

У описанного метода следующие преимущества: актуальность использованной информации, скорость создания модели и пригодность созданной модели для автоматизированного проектирования.

При акустическом проектировании наиболее существенна модель акустических явлений.

Выбор акустической модели зависит от вида шумового источника. В большинстве случаев, когда источники шума – автомобили, железнодорожные составы и трамваи, модель основывается на нормативных актах, исследованиях авторитетных ученых и т. п. В остальных случаях специалист определяет, каким способом распространяются звуковые волны от источника: сферическим, квазицилиндрическим или цилиндрическим [5].

Система позволяет вычислять шумовые характеристики по различным методикам:

- для автомобильного транспорта – метод Осипова, метод Аистова, CoRTN (UK), RLS-90 (Германия), TemaNord (Скандинавия), SonRoad (Швейцария), CNR (Италия);
- для железнодорожного транспорта – ГОСТ Р 54933, метод Николова и др.;
- для трамваев – метод Осипова и др.

Для определения шумовых характеристик автомобильных потоков на автомагистралях Urban Acoustics предлагает инновационное решение [1]. Характеристика шума получается при энергетическом суммировании характеристик автомобильных потоков со всех лент движения, так как расстояние между ними соизмеримо с базисным. При этом учитываются и различные условия движения по различным лентам: по внутренним лентам движется меньше машин, но с высокой скоростью, а на внешних лентах скорость ниже, но по ним движутся тяжелые машины – грузовики и автобусы.

Решение учитывает и разницу в распределении интенсивности движения и в составе потока машин в определенные периоды суток, с наличием двух максимумов, чаще всего утром и после обеда, и сравнительного за-

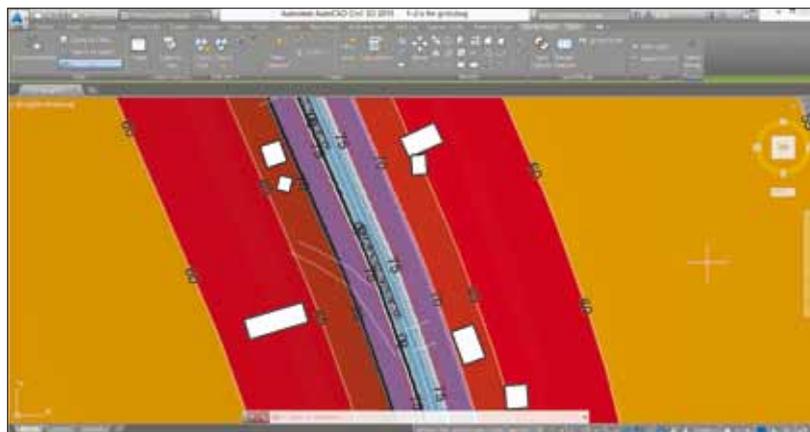


Рис. 4. Шумовая карта, созданная при помощи софтуэра Urban Acoustics

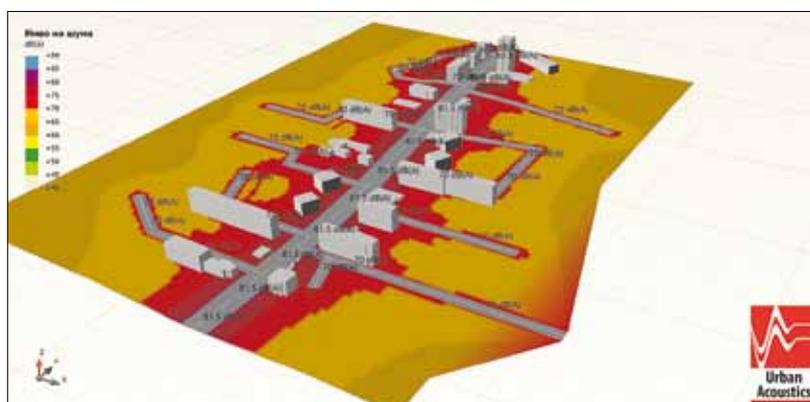


Рис. 5. Акустическая обстановка около бульвара Никола Габровски в Софии

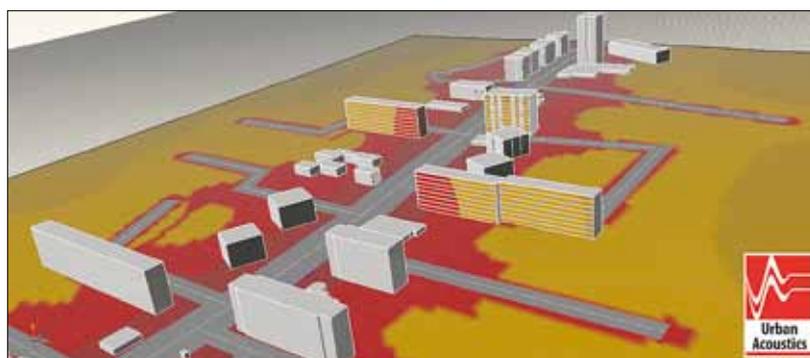


Рис. 6. Уровень шума на фасадах зданий от нескольких шумовых источников

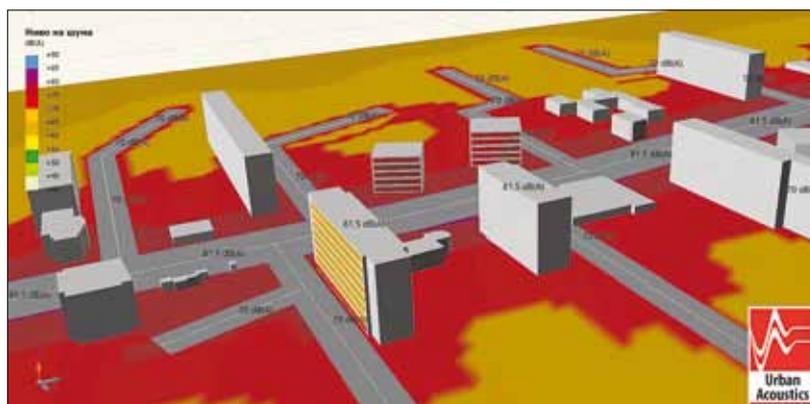


Рис. 7. Уровень шума от нескольких источников на фасадах зданий

тишь в ночные часы. В интенсивности движения, особенно по магистралям, ведущим и выводящим из больших городов, наблюдаются экстремумы в начале сезона отпусков и в конце недели, особенно когда выходные дни «сливаются».

Кроме того, определение шумовых характеристик возможно и с помощью вероятностного анализа источников шума по методу Монте Карло (рис. 2). С помощью функции, задающей граничные условия совместно конкретных параметров, получается наиболее вероятная характеристика шума от транспортного потока. Происходит кумулятивное распределение результатов.

После вычисления шумовой характеристики вычерчивается график, иллюстрирующий понижение уровня шума при увеличении расстояния и при поглощении шума воздухом. В системе имеется и генератор отчетов для распечатки документов, которые после могут быть приложены к проектным документам. Вычисленные результаты могут сохраняться в базе данных, откуда их можно использовать для САД-среды при создании цифровой акустической модели для целостного моделирования источника шума.

В САД-среде к оси движения источника шума из базы данных или вручную ассоциируется акустическая модель источника. Система записывает шумовые характеристики в дневное, вечернее и ночное время и чертит изофоны, показывающие уменьшение уровня шума при увеличении расстояния и при поглощении воздухом. Изофоны сопоставляются с защищенными объектами; таким образом, получается предварительная оценка объектов, попадающих в гигиенозащитные зоны.

В помощь проектанту система предлагает интерактивную графику.

Акустическая модель территории показывает распространение шума из одного или нескольких источников, например автомобильная магистраль в несколько уровней, железнодорожная линия или трамвайный путь (рис. 4).

Для получения более детальной картины и для учета одновременного влияния нескольких источников шума Urban Acoustics позволяет вычерчивание изофонов, обхватывающих определенную область в защищенной территории. При этом уровень шума определяется в достаточно густой сетке, например через 1 м, и учитываются источники шума, имеющие воздействие на этой территории.

Несмотря на то что автоматизированные системные решения получаются на базе вычислительных моделей, наглядность полученных результатов тоже имеет значение. Как известно, наглядные изображения позволяют специалисту оценить влияние различных факторов, а команде специалистов – достигнуть общего решения.

Подобные визуализации создаются большинством систем для акустического проектирования.

Urban Acoustics дает возможность для изготовления таких 3D-визуализаций акустической обстановки (рис. 5) на базе модели, полученной в САД-среде. Имеются в наличии инструменты для смены угла наблюдения, масштаба, расцветки и т. п.

Визуализация включает шумовую карту с источниками шума, защищаемые объекты, поперечные акустические профили, а также уровень шума на фасадах зданий (рис. 1, 6, 7).

Визуализация демонстрирует расположение зданий в зонах с различными уровнями шума, а также их этажность и взаимное расположение по отношению друг к другу. Представляется целесообразным для зданий, непосредственно

попадающих под действие шума, сделать анализ шумового уровня по высоте фасада (рис. 1). Таким образом, получается точная оценка, какие именно этажи зданий подвергаются воздействию шума выше допустимого уровня.

Список литературы

1. Бенев Д.М., Маждраков М.Г., Николов Н.Д., Ташков Й.Л. Детальное моделирование характеристики шума транспортного потока на автомагистралях // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации»*. СПб.: Балтийский государственный технический университет «Военмех» (Санкт-Петербург), 2013. С. 477–482.
2. Веретина И. Программное обеспечение акустических расчетов. В кн. *Строительная физика в XXI веке*. М.: НИИСФ, 2006. С. 339–340.
3. Николов Н.Д., Шубин И.Л. Экспериментальное исследование вклада отраженного звука в звуковые поля на территории фронтальной застройки // *Приволжский научный журнал*. 2009. № 3. С. 59–64.
4. Маждраков М., Николов Н. Особенности инженерных расчетов // *Материалы VII Межд. научн. конф. SGEM*. Болгария: Албена, 2007. С. 76–77.
5. Шубин И.Л., Цукерников И.Е., Николов Н.Д., Писарски А.А. Основы проектирования транспортных шумозащитных экранов. Москва: ООО «ИД «БАСТЕТ»», 2014. 208 с.
6. Николов Н.Д., Шубин И.Л. Исследование влияния конфигурации зданий на звуковые поля в застройке примагистральных территорий // *Приволжский научный журнал*. 2009. № 3. С. 54–58.

References

1. Benov D.M., Mazhdakov M.G., Nikolov N.D., Toshkov Y.L. Detailed modeling of the characteristic of noise of a transport stream on highways. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «zashchita ot povyshennogo shuma i vibratsii»* [Materials of the All-Russian scientific and practical conference with the international participation «protection against the increased noise and vibration»]. St. Petersburg: Baltic state technical university «Voyenmekh» (St. Petersburg), 2013, pp. 477–482. (In Russian).
2. Veretina I.I. Software of acoustic calculations. In book: *Stroitel'naya fizika v XXI veke* [Construction physics in the XXI century]. Moscow: NIISF, 2006, pp. 339–340. (In Russian).
3. Nikolov N.D., Choubin I.L. A pilot study of a contribution of the reflected sound to sound fields in the territory of frontal building. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2009. No. 3, pp. 59–64. (In Russian).
4. Mazhdakov M., Nikolov N. Features of engineering calculations. *Materialy VII Mezhd. nauchna konf. SGEM* [Materials VII Mezhd. scientifically conf. SGEM]. Bulgaria: Albena, 2007, pp. 76–77. (In Russian).
5. Shubin I.L., Tsukernikov I.E., Nikolov N.D., Pisarski A.A. Osnovy proektirovaniya transportnykh shumozashchitnykh ekranov [Bases of design of transport noise screens]. Moscow: BASTET, 2014. 208 p.
6. Nikolov N.D., Shubin I.L. Research of influence of a configuration of buildings on sound fields in building the primagistralnykh of territories. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2009. No. 3, pp. 54–58. (In Russian).

УДК 332.834

Р.Ю. КЛЫЧНИКОВ¹, канд. техн. наук (Kirza_soft@mail.ru); В.А. ЕЗЕРСКИЙ², д-р техн. наук (wiz75micz@rambler.ru); П.В. МОНАСТЫРЕВ³, д-р техн. наук (monastyrev68@rambler.ru)

¹ АНКО «Тамбовский центр судебных экспертиз» (392000, г. Тамбов, ул. Рабочая, 37)

² Белостокский технический университет (РП, 15-351 г. Белосток, ул. Сельская, 45А)

³ Тамбовский государственный технический университет (392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106)

Последовательность термомодернизации жилых зданий и ее влияние на экономическую эффективность

Рассмотрен вопрос о целесообразности учета последовательности термомодернизации жилых домов при разработке программы термомодернизации большой группы зданий произвольного градостроительного образования. С использованием ранее разработанной авторами и описанной в различных публикациях методики произведена оптимизация последовательности термомодернизации выбранной группы жилых зданий, состоящей из 720 домов. Для конформации выводов рассчитан другой вариант последовательности, дающий наименьшую экономическую эффективность. Путем сравнения полученных результатов установлено, что при выбранных расчетных условиях оптимизация последовательности термомодернизации способна обеспечить дополнительную экономию средств до 8,53%. В завершение сформулирован простой инженерный подход к определению оптимальной последовательности термомодернизации. Для объяснения закономерности формирования оптимальной последовательности предлагается показатель снижения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

Ключевые слова: тепловая защита зданий, термомодернизация, экономическая оценка, чистая дисконтируемая экономия средств, последовательность модернизации зданий, энергосбережение.

R.Yu. KLYCHNIKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (Kirza_soft@mail.ru); V.A. EZERSKIY², Doctor of Sciences (Engineering) (wiz75micz@rambler.ru); P.V. MONASTYREV³, Doctor of Sciences (Engineering) (monastyrev68@rambler.ru)

¹ Independent noncommercial organization «Tambov center of legal expertise» (37, Rabochaya Street, Tambov, 392000, Russian Federation)

² Bialystok University of Technology (45A, Wiejska Street, Białystok, 15-351, Poland)

³ Tambov State Technical University (106, Sovetskaya Street, Tambov, 392000, Russian Federation)

Sequence of Thermal Modernization of Residential Buildings and Its Impact on Economic Efficiency

The practicability of accounting of the sequence of thermal modernization of residential buildings in the course of development of the thermal modernization program for a large group of buildings of an arbitrary urban formation is considered. Optimization of the sequence of thermal modernization of the selected group of buildings consisting of 720 houses is made with the help of the methodology developed by the authors and described in various publications. For confrontation of conclusions, a different variant of the sequence giving the smallest economic efficiency has been calculated. By comparison of the results obtained, it is established that at the selected calculation conditions the optimization of the sequence of thermal modernization makes it possible to ensure an additional savings up to 8.53%. In conclusion, a simple engineering approach to the determination of the optimal sequence of thermal modernization is formulated. To explain the regularities of the optimal sequence formation, an indicator of reducing the specific characteristic of heat energy consumption for heating and ventilation of a building is proposed.

Keywords: heat protection of buildings, thermal modernization, economic assessment, net discounted savings, sequence of buildings modernization, energy saving.

Выбор обоснованных параметров тепловой защиты отдельных существующих и проектируемых зданий является актуальной прикладной задачей и широко рассматривается в научных публикациях последних лет [1–3]. Сложность задачи возрастает, когда разрабатываются программы термомодернизации больших групп жилых домов, не удовлетворяющих современным требованиям тепловой защиты. В средних и малых городах РФ такие группы домов часто состоят из нескольких подгрупп типовых жилых зданий, каждая из которых представлена зданиями одной и той же серии. В такой ситуации кроме обоснования факторов, характеризующих системы теплозащиты, приходится принимать решение об установлении последовательности выполнения модернизации зданий, отличающихся этажностью, строительной и конструктивной системой, материалом конструкций.

Подход с теоретической проработкой задачи оптимизации последовательности термомодернизации реконструируемых зданий, предполагающий обоснованный выбор параметров тепловой защиты и очередности модернизации зданий, опи-

сан в одной из научных работ [4]. Однако в настоящее время этот подход находится на начальном этапе развития.

В связи с этим авторами настоящей публикации проведено исследование, направленное на расширение существующих знаний стратегии принятия решений при термомодернизации жилых зданий в масштабах не отдельного дома, а больших групп зданий, составляющих градостроительные образования.

Ранее авторами была разработана методика оптимизации параметров термомодернизации больших групп жилых зданий [5] и заложена в программную математическую модель [6]. Однако вопрос об эффективности оптимизации такого фактора, как последовательность термомодернизации, до настоящего времени не исследован, что не позволяет судить о практической ценности предложенного подхода.

Настоящая работа направлена на разрешение вопроса о целесообразности учета последовательности термомодернизации больших групп жилых зданий при разработке программ.

Исследование влияния последовательности термомодернизации группы жилых зданий на суммарную величину дости-

Таблица 1

гаемой чистой дисконтируемой экономии средств (ЧДЭС) проведено на основе результатов вычислительного эксперимента с использованием авторской компьютерной программы [6] на примере группы, состоящей из 720 жилых зданий, которые были представлены 12 типами и включали по 60 зданий каждого типа. Состав исследуемой группы жилых зданий и фактические теплозащитные характеристики наружных ограждающих конструкций представлены в табл. 1 и 2.

Климатические условия характеризовались величиной ГСОП = 4763,7 °К·сут. Экономические условия реализации планируемой программы термомодернизации характеризовались нормой дисконта 10%, темпами роста тарифов на тепловую энергию 15% в год и текущим тарифом 45 USD/Гкал. Отметим, что здесь и далее все стоимостные показатели приводятся в долларах США, при этом учетные и инфляционные ставки берутся для экономической зоны РФ, в которой оперируемой валютой является рубль. Указанное обстоятельство не является ошибкой, а сделано сознательно для возможности сопоставления получаемых результатов с данными зарубежных исследователей при необходимости. Соответственно предполагалось, что реальной валютой в формируемых денежных потоках будет именно рубль, а не доллар США.

В расчетах принималось, что активная фаза проведения программы термомодернизации продлится в течение 12 лет. При этом предполагалось, что ежегодно будет модернизировано одинаковое количество эквивалентных объемов зданий, принятое равным 231,7 экв. ед./г.

Планировалось, что термомодернизация каждого здания в отдельности включает в себя утепление наружных стен, чердачных и цокольных перекрытий, а также замену светопрозрачных конструкций. С учетом этого при оптимизации термомодернизации отдельного дома анализировались следующие факторы:

1. Тип системы дополнительного утепления наружных стен (фактор X_1), среди которых рассматривались:

- утепление по системе «мокрого» фасада с использованием в качестве материала утеплителя плит из экструдированного пенополистирола «Пеноплекс С»;

- утепление по системе «мокрого» фасада с использованием в качестве материала утеплителя минераловатных плит марки «Изовент»;

- утепление по системе вентилируемого фасада с облицовкой из алюминиевых композитных панелей и с использованием в качестве материала утеплителя минераловатных плит марки «Изовент».

2. Толщина слоя дополнительной теплоизоляции наружных стен $\delta_{стен}^{доп}$ (фактор X_2), м, в рассматриваемых системах утепления. Принимались толщины слоев утепляющего материала 0,05 м; 0,1 м и 0,15 м.

3. Сопrotивление теплопередаче вновь устанавливаемых оконных и дверных балконных заполнений термомодернизируемого здания $R_{ок}^{new}$ (фактор X_3). Рассматривались конструкции с R равным 0,54 (м²·°C)/Вт; 0,71 (м²·°C)/Вт и 1,02 (м²·°C)/Вт.

4. Тип материала слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия (фактор X_4). Рассматривалось использование в качестве утеплителя:

№ типа здания	Строительная система здания	Номер типового проекта	Фактические теплозащитные характеристики наружных ограждающих конструкций, U, Вт/(м ² ·°К)			
			стен	окон	чердачного перекрытия	цокольного перекрытия
1	Кирпич	1-447	1,106	3,333	0,962	1,037
2		1-447	1,106	3,333	0,962	1,037
3		1-447	1,106	3,333	0,962	1,037
4		1-447	1,106	3,333	0,962	1,037
5	КПД	1-464	0,99	3,333	1,429	1,464
6		1-464	0,99	3,333	1,429	1,464
7		1-464	0,99	3,333	1,429	1,464
8		1-464	0,99	3,333	1,429	1,464
9		111-90	0,923	2,857	1,119	0,814
10		111-90	0,923	2,857	1,119	0,814
11		111-90	0,923	2,857	1,119	0,814
12		111-90	0,923	2,857	1,119	0,814

Таблица 2

№ типа здания	Строительная система здания	Количество этажей	Количество лестничных клеток	Коэффициент компактности здания	Отапливаемый объем, м ³	Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/(м ³ ·°C)		
						до модернизации, $q_{от}^{bf}$	после модернизации, $q_{от}^{of}$	абсолютная разница, $\Delta q_{от}$
1	Кирпич	5	2	0,381	6039	0,771	0,317	0,454
2		5	4	0,353	12078	0,724	0,307	0,417
3		5	6	0,343	18117	0,708	0,303	0,405
4		5	8	0,338	24156	0,7	0,301	0,399
5	КПД	5	2	0,39	5348	0,876	0,352	0,524
6		5	4	0,361	9715,2	0,829	0,336	0,493
7		5	6	0,35	14082,4	0,811	0,33	0,481
8		5	8	0,344	18449,6	0,802	0,327	0,475
9		9	2	0,318	13983,84	0,593	0,283	0,31
10		9	4	0,297	27967,68	0,571	0,276	0,295
11		9	6	0,289	41951,52	0,563	0,274	0,289
12		9	8	0,286	55935,36	0,559	0,273	0,286

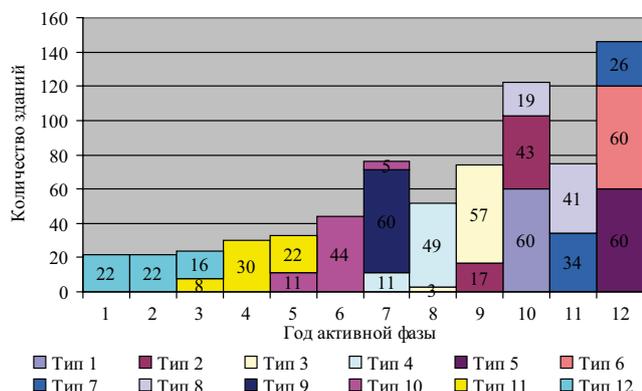


Рис. 1. Оптимальная последовательность термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий

- плиты из экструдированного пенополистирола «Пеноплекс К»;
- минераловатные плиты марки «Изоруф»;
- пеностекло (130–190 кг/м³; 0,08 Вт/(м²·°C)).

5. Толщина слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия $\delta_{\text{черд}}^{\text{доп}}$ (фактор X_5), м. Рассматривались толщины утепляющего материала 0,05 м; 0,1 м и 0,15 м.

6. Толщина слоя дополнительной теплоизоляции перекрытия первого этажа $\delta_{\text{1эт}}^{\text{доп}}$ (фактор X_6), м. Рассматривалось дополнительное утепление минераловатными плитами марки «Изофлор».

Дополнительно учитывалось, что оптимизация процесса термомодернизации всей рассматриваемой группы зданий предполагает принятие решений по обоснованному выбору очередности модернизации зданий, т. е. установления типов и количества зданий по годам активной фазы реализации программы. Поэтому в дополнение к вышеописанным факторам рассматривался также фактор последовательности термомодернизации (фактор X_7).

Используя изложенную в [5] методику и описанные выше исходные данные, на программной модели проведены расчеты оптимальных параметров термомодернизации принятой группы жилых зданий.

По результатам расчетов в первую очередь выполнен анализ оптимальной последовательности термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий. Под оптимальной последовательностью термомодернизации в исследовании понималось такое распределение типов термомодернизируемых зданий и их количества по годам активной фазы программы, которое обеспечивало бы максимальный экономический эффект от реализации этого процесса.

Для иллюстрации результатов расчетов построен график (рис. 1) оптимального варианта последовательности, обеспечивающего максимальный экономический эффект в виде суммарной чистой дисконтируемой экономии средств за весь срок службы теплозащитных мероприятий в размере более 2,4 млрд дол. США.

График построен в виде гистограммы, столбцы которой показывают количество зданий, модернизированных в каждом очередном году из 12 лет активной фазы программы. Цветом и цифрами на отдельных участках столбцов показаны типы рассматриваемых зданий и их число. Максимальная величина ЧДЭС при термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий в соответствии с представленной на рис. 1 последовательностью, которую характеризует фактор X_7 , достигается при оптимальных значениях остальных факторов, показанных в столбце 2 табл. 3.

Таблица 3

Факторы влияния	Вариант 1 Оптим.	Вариант 2 Наихудш.
Тип системы дополнительного утепления наружных стен (фактор X_1)	Тип № 3	Тип № 3
Толщина слоя дополнительной теплоизоляции наружных стен (фактор X_2), м	0,15	0,15
Сопrotивление теплопередаче вновь устанавливаемых оконных и балконных заполнений термомодернизируемого здания (фактор X_3)	1,02	1,02
Тип материала слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия (фактор X_4)	Тип № 2	Тип № 2
Толщина слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия (фактор X_5), м	0,15	0,15
Толщина слоя дополнительной теплоизоляции перекрытия первого этажа (фактор X_6), м	0,1	0,1

Оценивая рассчитанную величину ЧДЭС, полученную при оптимальной последовательности термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий, необходимо отметить, что, с одной стороны, получена впечатляющая цифра, а с другой – необходимо помнить о том, что достигнута она будет только через полвека, а на реализацию подобной программы придется потратить за 12 лет более 662 млн дол. США и модернизировать почти 15 млн м³ существующих жилых зданий. При столь колоссальных объемах важно убедиться в эффективности и целесообразности предлагаемой стратегии, обосновывая ее научными методами тщательнейшим образом.

Для конфронтации выводов рассчитан также вариант последовательности, дающий наименьшую экономическую эффективность (вариант 2) – ЧДЭС в размере 2,23 млрд дол. США. Для этого варианта также построена гистограмма, показывающая распределение типов и количества термомодернизируемых зданий по годам (рис. 2), а значения остальных влияющих факторов показаны в соответствующем столбце табл. 3.

В результате анализа результатов расчетов удалось выявить, что оптимальные параметры дополнительной тепловой защиты отдельных жилых зданий рассматриваемых типов не зависят от последовательности реализации программы. Более того, как видно из данных табл. 3, для рассматриваемого примера эти параметры одинаковы для всех выбранных к исследованию типов домов, что объясняется малым различием их фактических теплотехнических свойств, а также отсутствием влияния на эти параметры фактора времени.

Анализируя далее значения ЧДЭС и построенные графики, выявлено, что последовательность выполнения термомодернизации для выбранной группы жилых зданий существенно влияет на эффективность данного мероприятия. Разность между максимальным и минимальным значениями ЧДЭС, которые характеризуют соответственно оптимальный и наименее экономичный варианты последовательности термомодернизации рассматриваемых зданий (без изменения остальных параметров), измеряется величиной примерно в 191 млн дол. США, которая сопоставима с годовым бюджетом большого города. В относительном выражении эта разность составляет 8,53% по отношению к минимальной величине ЧДЭС.

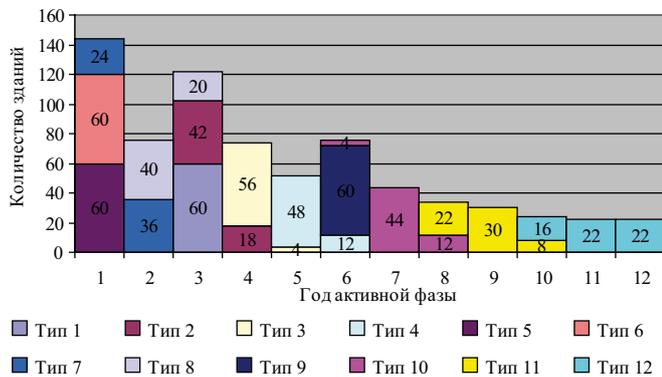


Рис. 2. Последовательность термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий, обладающих наименьшей экономической эффективностью (вариант 2)

Представленный результат демонстрирует, что лишь обоснованный выбор очередности термомодернизации зданий градостроительного образования позволяет существенно повысить экономическую эффективность реализуемой программы. При этом необходимо отметить, что он получен для произвольно принятых начальных параметров оптимизации и не может рассматриваться как наивысший вклад последовательности термомодернизации в величину ЧДЭС.

Следующим шагом анализа явилось установление закономерностей формирования последовательности термомодернизации зданий. Здесь отметим, что количество зданий в каждом году рассчитывалось с учетом введенного авторами в [5] понятия эквивалентного объема зданий и принятого допущения об одинаковых годовых программах термомодернизации в течение 12 лет. С учетом этого допущения, на каждый год выбиралось такое количество зданий, которое в эквивалентных единицах принимая во внимание их тип соответствовало принятой годовой программе.

Закономерность распределения типов зданий по годам активной фазы предполагалось установить из накопленных графических и табличных данных. Диаграмма на рис. 1 анализировалась с учетом характерных параметров зданий. Замечено, что в первые годы реализации программы выбираются крупнопанельные здания высотой девять этажей и наибольшей протяженности. Замечено также, что выбранные типы зданий в первые восемь лет реализации программы имели возрастающий показатель коэффициента компактности. Однако влияние ни одного из названных параметров не наблюдалось во всем интервале активной фазы и вызывало сомнения при попытках физической интерпретации их влияния.

По мнению авторов закономерность формирования последовательности объясняет показатель снижения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания Δq_{om} , который численно равен разнице значений данной характеристики для выбранного типа здания до (q_{om}^{bf}) и после (q_{om}^{af}) его термомодернизации:

$$\Delta q_{om} = q_{om}^{bf} - q_{om}^{af}.$$

Анализ значений показателя снижения удельной характеристики расхода тепловой энергии соответствующих типов зданий по годам на рис. 1 показал, что для оптимальной последовательности термомодернизации выбор типов зданий по годам всего периода активной фазы выполняется в строгом соответствии с величиной этого показателя, т. е. чем ниже значение показателя Δq_{om} для рассматриваемо-

го типа здания, тем ранее этот тип здания выбирается для выполнения термомодернизации.

Так, в первые годы для термомодернизации выбираются 9-этажные крупнопанельные здания большой протяженности с наиболее низким значением показателя Δq_{om} – от 0,286 до 0,31 Вт/(м³·°С). При переходе к типам зданий с другой этажностью и протяженностью, с другими строительными системами и значениями коэффициента компактности закономерность не меняется. Выполняется перебор всех зданий того типа, который имеет более низкое значение показателя снижения удельной характеристики расхода тепловой энергии, и далее осуществляется переход к типу здания со следующим по возрастающей значением этого показателя.

Информация с гистограммы на рис. 2 показала, что если начать реализацию программы термомодернизации с типа здания с наибольшим значением показателя снижения удельной характеристики расхода тепловой энергии Δq_{om} и закончить типом здания с наиболее низким его значением, то такая последовательность сопровождается получением минимального экономического эффекта. Отметим, что гистограмма на рис. 2 является практически зеркальным отражением гистограммы на рис. 1. При этом выявленная закономерность влияния Δq_{om} на последовательность термомодернизации сохраняется, но уже в обратном порядке, так как речь идет о минимальной возможной, а не максимальной эффективности программы.

Физическое объяснение выявленной закономерности применительно к типам зданий можно дать, если, во-первых, учесть, что здания рассматриваемого типа имеют, как правило, почти одинаковые теплозащитные качества наружных ограждений, а стоимость их термомодернизации, отнесенная к объему, отличается несущественно.

Во-вторых, вполне логично допустить, что чем меньше величина экономии тепловой энергии, достигаемая в ходе реализации термомодернизации, т. е. чем меньше значение показателя Δq_{om} для выбранного типа здания, тем меньше экономическая эффективность такого мероприятия в данный период времени по сравнению с типами зданий с более высоким Δq_{om} .

В-третьих, необходимо принять во внимание, что для принятых экономических условий с течением времени величина ЧДЭС от термомодернизации даже одного и того же типа здания растет. Из этого следует, что чем позже выполняется модернизация типа здания, обеспечивающего более высокое сокращение теплотерь, тем больший будет его вклад в суммарную величину ЧДЭС от реализации программы. Это и отразилось в нашем случае на формировании последовательности выполнения термомодернизации рассматриваемой группы зданий.

Таким образом, удалось выявить, что при реализации многолетних программ термомодернизации больших групп зданий для обеспечения максимальной эффективности мероприятия в первую очередь необходимо подвергать термомодернизации типы зданий с наименьшим значением показателя снижения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию. Именно в таком случае реализация всей программы обеспечит наибольший экономический эффект.

Однако распространяется ли эта закономерность на весь диапазон изменения начальных условий и остальных влияющих факторов, можно ответить только после детальной проверки с помощью многовариантных расчетов, которые авторы планируют в дальнейшей работе.

Список литературы

1. Козлов В.В. Основы оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций по окупаемости энергосберегающих мероприятий // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 10–13.
2. Самарин О.Д. Выбор оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий при реконструкции зданий образовательных учреждений // *Жилищное строительство*. 2015. № 2. С. 25–28.
3. Шеина С.Г., Миненко А.Н. Разработка алгоритма выбора энергоэффективных решений в строительстве // *Инженерный вестник Дона*. 2012. Т. 22. № 4–1 (22). С. 133.
4. Болотин С.А., Дадар А.Х., Котовская М.А. Модель пространственно-временной аналогии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 7(42). С. 51–57.
5. Езерский В.А., Монастырев П.В., Клычников Р.Ю. Имитационная модель оптимизации параметров термомодернизации жилых зданий в масштабе города // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2013. № 31. Ч. 2. С. 475–484.
6. Клычников Р.Ю., Монастырев П.В., Езерский В.А. Расчет эффективности термомодернизации градостроительного образования (CRC – City Retrofit Calculation) / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2014616197. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16 июня 2014 г.

References

1. Kozlov V.V. Fundamentals of optimization of enclosing structures thermal protection with due regard for payback of energy-saving measures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 10–13. (In Russian).
2. Samarin O.D. Selection of the optimal combination of the energy saving measures during renewal of educational buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 25–28. (In Russian).
3. Sheina S.G., Minenko A.N. Development of algorithm of choice in the construction of energy efficient solutions. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2012. Vol. 22. No. 4–1 (22), p. 133. (In Russian).
4. Bolotin S.A., Dadar A.H., Kotovskaya M.A. Model of the space-time analogy to optimize the sequence reconstructed objects. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2013. No. 7(42), pp. 51–57. (In Russian).
5. Ezerskiy V.A., Monastirev P.V., Klychnikov R.Yu. Simulation model parameters optimization of thermal-residential buildings in the city scale. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2013. No. 31. Part 2, pp. 475–484. (In Russian).
6. Klychnikov R.Yu., Monastirev P.V., Ezerskiy V.A. The calculation of the efficiency of thermo-urban education (CRC – City Retrofit Calculation) / Certificate of official registration of computer program №2014616197. Registered in Computer Program Register on June 16, 2014. (In Russian).

НОВОСТИ

Новый фасад не даст перегреться офису

В наши дни громадные зеркальные стеклопакеты на фасадах офисных зданий – обычная практика. Они дают хороший обзор и позволяют экономить электроэнергию в светлое время суток, однако поступающий свет не только освещает, но и перегревает помещения, в связи чем увеличиваются затраты на дополнительное кондиционирование. Недавно ученые из института Фраунгофера и Школы искусств Вайссензее в Берлине заявили, что нашли решение этой проблемы.

Исследователи разработали светоблокирующий фасад для таких окон, который «проявляется» только под действием солнечных лучей, от которых и работает. Он представляет собой массив из похожих на цветы круглых компонентов, каждый из которых состоит из тканевого диска и проходящих через него проводов, изготовленных из сплава никеля с титаном. Этот сплав обладает памятью формы, т.е. при охлаждении материал сворачивается, а при нагревании возвращается к своей первоначальной форме.

Такой фасад можно установить на уже существующие окна, либо на поверхности стекла, а в двойных застекленных рамах – между стеклами. Когда фасады нагреваются от солнечного света, тканевые диски в них разворачиваются и блокируют прохождение солнечных лучей в помещение, не позволяя им перегреваться. Ночью или в непогоду фасад вновь становится прозрачным. Компоненты светоблокирующего фасада могут быть выполнены различных форм и размеров. Да и сами фасады могут быть легко масштабируемы как на определенную часть окна, так и на все окно.

Исследования под руководством Андре Бюша продолжаются. Ученые рассматривают возможности использования нового фасада для хранения тепловой энергии в течение дня. Эта энергия, по замыслу разработчиков, могла бы быть использована в ночное время суток, или же для выработки электроэнергии с помощью гибких солнечных батарей.

По материалам www.vzavtra.net

УДК 624.072.221

А. Г. ТАМРАЗЯН, д-р техн. наук, советник РААСН,
М.А. ОРЛОВА, инженер (orlovamaria_na@mail.ru)

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

К остаточной несущей способности железобетонных балок с трещинами

Представлены результаты исследований несущей способности железобетонных балок с нормальными и горизонтальными трещинами. Приводятся экспериментальные и теоретические значения разрушающего изгибающего момента и степени снижения несущей способности балок с трещинами по сравнению с аналогичными без начальных дефектов. Предложен метод расчета остаточной прочности изгибаемых железобетонных элементов с трещинами, основанный на эмпирических коэффициентах. Дается сравнительный анализ экспериментальных данных и теоретических расчетов.

Ключевые слова: железобетонные балки, несущая способность, трещины.

A.G. TAMRAZYAN, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Councilor of RAACS, M.A. ORLOVA, Engineer (orlovamaria_na@mail.ru)
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskeye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

About Residual Bearing Capacity of Reinforced Concrete Beams with Cracks

Results of the study of bearing capacity of reinforced concrete beams with normal and horizontal cracks are presented. Experimental and theoretical values of the breaking bending moment and levels of reducing the bearing capacity of beams with cracks in comparison with analogous beams without cracks are given. A method for calculating the residual strength of bending elements with cracks based on empiric coefficients is proposed. A comparative analysis of experimental data and theoretical calculations is given.

Keywords: reinforced concrete beams, bearing capacity.

В железобетонных конструкциях в процессе изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации могут возникнуть различные дефекты и повреждения, такие как нормальные трещины в растянутой зоне и локальные горизонтальные трещины в бетоне сжатой зоны. Причинами повреждений могут являться: нарушение технологии изготовления или нормальных условий эксплуатации конструкций, изменение структуры бетона вследствие температурных воздействий или коррозии, возникающей при воздействии жидких или агрессивных сред, а также нарушение условий транспортировки и монтажа.

Определение остаточной несущей способности таких элементов является актуальной задачей и связано с оценкой прочности материалов [1].

Для установления влияния дефектов на остаточную несущую способность изгибаемых железобетонных элементов были изготовлены и испытаны пять серий балок, имеющих нормальные трещины в растянутой зоне (серии 1, 2, 3, 4, 9), шесть серий балок, имеющих горизонтальные трещины в сжатой зоне (серии 5, 13, 14, 17, 18, 19), а также две серии балок, имеющих как горизонтальные, так и нормальные трещины (серии 6, 9). Опытные образцы отличаются между собой прочностью бетона, степенью армирования сечений и параметрами трещин. Одновременно с балками, имеющими трещины, были изготовлены и испытаны балки без дефектов, имеющие аналогичное армирование, прочность бетона и геометрические размеры (серии 7, 8, 11, 12, 15, 16, 20). Балки изготовлены из тяжелого бетона различной прочности на сжатие В5, В14, В35, В50 [2]. Диаметр рабочей растянутой арматуры 14 и 20 мм. Общий вид каркаса представлен на рисунке.

Опытные образцы испытывались на изгиб статической нагрузкой до разрушения, как однопролетные шарнирно опертые балки, нагруженные двумя сосредоточенными силами [2].

Экспериментальные данные представлены в таблице в виде относительного момента M_{ult}/M_{test} , где M_{ult} – разрушающий момент балки с трещинами; M_{test} – разрушающий момент аналогичной балки без дефектов.

Анализ результатов испытания позволяет судить о степени влияния различных типов трещин и их параметров на несущую способность балок. В результате испытаний установлено, что несущая способность железобетонных балок, имеющих трещины, снижается в различной степени в зависимости от количества, вида и параметров начальных трещин, при этом оказывают влияние процент армирования сечения и прочность бетона на сжатие. При увеличении прочности бетона и степени армирования сечения влияние начальных трещин на остаточную несущую способность балок уменьшается [3].

Проведенные эксперименты позволили разработать инженерный метод расчета остаточной несущей способности железобетонных изгибаемых элементов с трещинами. Остаточную прочность по бетону сжатой зоны балок с нормальными трещинами в растянутой зоне предлагается вычислять по формуле:

$$R_b^v(t) = \frac{K_{TC}}{\sqrt{\pi \cdot h(t)}} \cdot k_v, \quad (1)$$

где $h(t)$ – средняя высота нормальной трещины; k_v – эмпирический коэффициент, определяемый по интерполяции в зависимости от суммарной длины нормальных трещин Σl_{cr} , количества нормальных трещин n , высоты сечения балки h и процента армирования сечения μ .

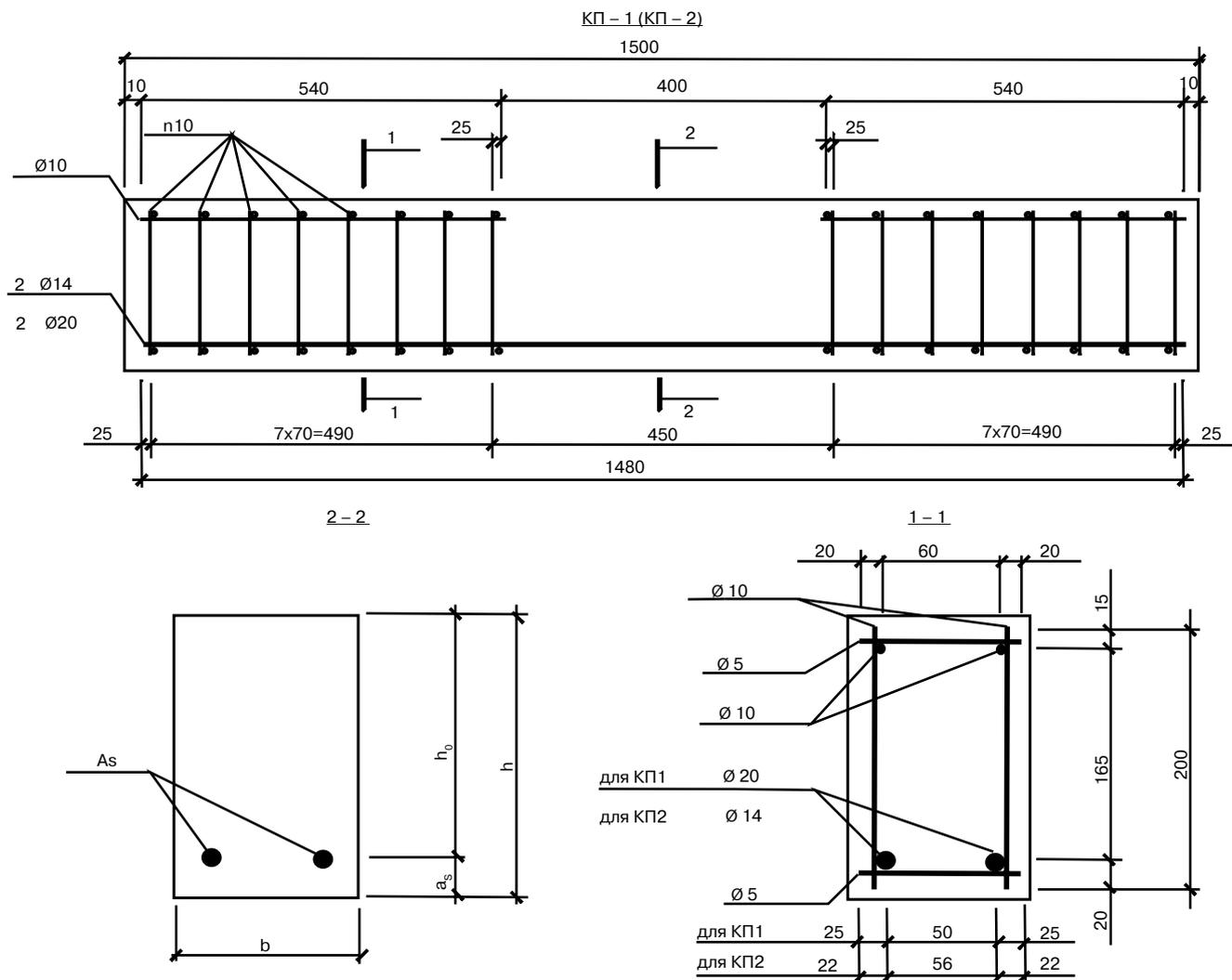


Схема армирования опытных балок

Сравнение экспериментальных данных и теоретических расчетов

Серия	Характеристики материалов		Несущая способность		
	Диаметр рабочей арматуры d , мм	R_b , МПа	Экспериментальные значения $M_{m,ult}^{exp}$, МПа	M_{ult} / M_{test}	Теоретические значения M_{ult}^{calc} , МПа
1	14	37	30,04	0,885	28
3	20	37	48	0,984	47,1
4	14	37	29,12	0,86	27,03
5	20	37	46,13	0,95	45,2
6	20	37	47,5	0,973	46
9	14	19	26,6	0,82	25,09
10	20	19	39,7	0,92	39,3
13	14	4	9,75	0,975	8,9
14	20	4	20	0,95	19,03

Остаточную прочность по бетону сжатой зоны балок с горизонтальными трещинами в сжатой зоне предлагается вычислять по формуле:

$$R_b^h(t) = \frac{K_{IC}}{\sqrt{\pi \cdot l(t)}} \cdot k_h \quad (2)$$

где $l(t)$ – суммарная длина горизонтальной трещины; k_h – эмпирический коэффициент, определяемый по интерполяции в зависимости от суммарной длины горизонтальных трещин Σl_{cr} , количества горизонтальных трещин

по высоте сжатой зоны n и длины зоны чистого изгиба балки l .

K_{IC} – критический коэффициент интенсивности напряжений, характеризующий сопротивление бетона распространению трещин [4], определяется по формуле:

$$K_{IC} = k_0 \cdot R_{bt,ser} \cdot \sqrt{d_s} \quad (3)$$

где $k_0=4$ – эмпирический коэффициент [5]; d_s – максимальный диаметр крупного заполнителя; $R_{bt,ser}$ – сопротивление бетона осевому растяжению.

Сравнение экспериментальных данных и теоретических расчетов показало хорошую сходимость результатов. В таблице приведены средние по серии значения экспериментального разрушающего момента $M_{m,ult}^{exp}$ и результаты теоретических расчетов, выполненных с использованием эмпирических коэффициентов M_{ult}^{calc} .

Для заземленных балок в зданиях каркасного типа, а также плит перекрытий перераспределение жесткостей элементов с трещинами имеет большое значение для оценки фактической надежности зданий с дефектными элементами [6].

Анализ результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов показал, что трещины в железобетонных изгибаемых элементах оказывают влияние на их напряженно-деформированное состояние. Несущая способность балок с трещинами ниже, чем у аналогичных балок без дефектов на 2–18%, в зависимости от прочности бетона, степени армирования сечения, типа и параметров трещин. Теоретические значения несущей способности балок с трещинами, вычисленные по инженерному методу, основанному на использовании эмпирических коэффициентов, ниже экспериментальных данных в среднем на 4%. Следовательно, проведенные экспериментальные исследования балок с трещинами подтверждают верность теоретических расчетов по предлагаемой методике оценки остаточной прочности изгибаемых железобетонных элементов с дефектами.

Список литературы

1. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. Метод поиска резерва несущей способности железобетонных плит перекрытий // *Промышленное и гражданское строительство*. 2011. № 3. С. 23–25.
2. Орлова М.А. Испытания железобетонных балок с начальными трещинами. Ч. 1. Постановка и проведение эксперимента // *Жилищное строительство*. 2010. № 8. С. 39–42.
3. Орлова М.А. Испытания железобетонных балок с начальными трещинами. Ч. 2. Результаты эксперимента // *Жилищное строительство*. 2010. № 9. С. 38–42.
4. Пересыпкин Е.Н., Шевцов С.В. Расчет изгибаемых железобетонных элементов с учетом сопротивления бетона распространению трещин. *Известия Сочинского госуд. ун-та*. 2011. № 1. С. 106–115.
5. Пересыпкин Е.Н. Расчет стержневых железобетонных элементов. М.: Стройиздат, 1988. 168 с.
6. Тамразян А.Г. Особенности работы высотных зданий // *Жилищное строительство*. 2004. № 3. С. 19–20.

References

1. Tamrazyan A.G., Filimonova E.A. Method of search of a reserve of the bearing ability of ferroconcrete plates of overlappings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011. No. 3, pp. 23–25. (In Russian).
2. Orlova M.A. Test of reinforced concrete beams with cracks Part 1. Organization and conduct of experiment. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2010. No. 8, pp. 39–42. (In Russian).
3. Orlova M.A. Test of reinforced concrete beams with cracks Part 2. Results of experiment. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2010. No. 9, pp. 38–42. (In Russian).
4. Peresyppkin E.N., Shevtsov S.V. Calculation of the bent reinforced concrete elements taking into account the concrete resistance to distribution of cracks. *Izvestiya Sochinskogo gosud. un-ta*. 2011. No. 1, pp. 106–115. (In Russian).
5. Peresyppkin E.N. Raschet stержnevyykh zhelezobetonnykh elementov. [Calculation of rod ferroconcrete elements]. M.: Stroizdat, 1988. 168 p.
6. Tamrazyan A.G. Features of work of high-rise buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2004. No. 3, pp. 19–20. (In Russian).

**XVII МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ОСЕННИЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
ФОРУМ**

30 сентября – **2015**
2 октября **КАЗАНЬ**

XVII специализированная выставка
ЖИЛИЩЕ

IX специализированная выставка
**ИНЖЕНЕРНЫЕ
КОММУНИКАЦИИ
ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ**

Выставочный центр "Казанская ярмарка"
Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8,
т./ ф.: (843) 570-51-07, 570-51-11, e-mail: d4@expokazan.ru,
www.expohouse.ru, www.expokazan.ru

УДК 747.56

А. УЙМА, канд. техн. наук (aujma55@wp.pl)

Ченстоховский политехнический университет (42-200, Республика Польша, Ченстохова, ул. Домбровского, 69)

Требования по освещению помещений в нормативных документах Республики Польша и их связь с энергосбережением

В главных польских строительных правилах, касающихся проектирования и эксплуатации зданий, помещены основные требования к освещению помещений. В строительном законодательстве Республики Польша введены качественно новые требования, относящиеся к энергосбережению. Они распространяются на количество энергии, расходуемой на отопление, вентиляцию и освещение помещений. Кроме требований, помещенных в строительные правила и нормы, существуют различные рекомендации по проектированию, которые относятся к вопросам эффективного освещения и эффективно-го расходования энергии в зданиях.

Ключевые слова: освещение помещений, требования по естественному и искусственному освещению, рекомендации по проектированию освещения.

A. UJMA, Candidate of Sciences (Engineering) (aujma55@wp.pl)
Czestochowa University of Technology (69, Dabrowskiego Street, Czestochowa, 42-201, Poland)

Requirements for Lighting of Premises in Normative Documents of the Republic of Poland and Their Relationship with Energy Saving

The Polish main building rules concerning the design and operation of buildings contain basic requirements for lighting of premises. Qualitatively new requirements for energy saving have been introduced in the building legislation of the Republic of Poland. They apply to the amount of energy spent for heating, ventilation and lighting of premises. In addition to the requirements included in building rules and regulations, there are various design recommendations that relate to the efficient lighting and efficient energy consumption in buildings.

Keywords: lighting of premises, requirements for natural and artificial lighting, recommendations on lighting design.

Освещение помещений подразделяется на естественное и искусственное. При создании и организации рабочих мест необходимо строго соблюдать нормы искусственного освещения, а также обеспечить дневное освещение. Помещения для выполнения разных видов работы, подразделяются на:

- помещения для постоянной работы, в которых время нахождения людей/сотрудников составляет более 4 ч/сут;
- помещения для временной работы, в которых время нахождения людей/сотрудников составляет от 2 до 4 ч/сут;
- помещения, в которых не выполняется работа, не предназначены для нахождения людей/работников или в которых они могут находиться до 2 ч/сут и выполняют работу, требующую кратковременного нахождения в этих помещениях, связанную, например, с техническим обслуживанием и ремонтом оборудования, не предназначенные для нахождения из-за технологического процесса.

В строительных правилах [1], в частности, говорится о том, что расстояние между зданием с помещениями, предназначенными для людей, и другими объектами не должно препятствовать поступлению естественного света в эти помещения. Условие это считается выполненным, если:

1. Между плечами угла 60° в горизонтальной плоскости с вершиной, расположенной на внутренней поверхности стены на оси окна затеняемого помещения, не находится какая-то часть данного здания или другой на расстоянии не меньше чем: а) высота затенения – для затеняюще-

го объекта высотой до 35 м; б) 35 м – для затеняющего объекта высотой выше 35 м.

Высота затеняющих препятствий, указанных выше, измеряется от уровня нижней кромки самых нижних окон здания до самой высокой кромки затеняющего объекта или его части, которая затеняет данный объект. Допускается размещение затеняющего объекта на расстоянии не менее 10 м от окна затеняемого помещения в виде мачты, трубы, башни или другого строительного объекта без ограничения его высоты, но при условии, что его ширина, измеренная параллельно к плоскости окна, не будет превышать 3 м. Расстояния, указанные выше, могут быть уменьшены не более чем наполовину при размещении здания в центре города.

При уплотненной застройке и сохранении расстояния между зданиями на уровне необходимого минимума часто бывает очень сложно выполнить требования по освещенности помещений. Влияют на это усложнение формы зданий, любые эркеры и переломы фасада. Особенно подвержены затенению окна, расположенные возле внутренних углов зданий, похожих в плане на буквы L или U.

2. Выполнены требования, касающиеся обеспечения попадания дневного света в помещение, с учетом его функции, формы и размеров и общими положениями безопасности и охраны труда. В частности, в предназначенном для людей помещении отношение площади окна, рассчитанной по краям прозрачной части окна, к поверхности пола долж-

но быть не менее 1:8, а в других помещениях, где нет необходимости в использовании естественного света исходя из функции помещения, – не менее 1:12. Требуется также, чтобы продолжительность инсоляции помещений, предназначенных для детей в яслях, детском саду и школе (за исключением лабораторий: химической, физической и художественной), составляла не менее 3 ч в дни равноденствия (21 марта и 21 сентября) с 8 до 16 ч, а жилых помещений – с 7 до 17 ч [1].

Помещениями, предназначенными для проживания людей в квартире, являются все комнаты (гостиная, детская, спальня), и в этих помещениях отношение поверхности окон, исчисляемое в свете рам, к поверхности пола должно составлять не менее 1:8. Кухня, ванная комната, прихожая – это уже вспомогательные помещения. В соответствии с правилами только кухня должна полностью учитываться и отношение поверхности окон к поверхности пола, в этом случае должно составлять 1:12. Остальные помещения могут быть без окон. Важным в этом требовании является то, что поверхность окна надо учитывать в свете рам, а это означает, что фактическая поверхность прозрачной части окна зависит от конструкции рам.

В квартире с несколькими комнатами допускается ограничение требования, указанного выше, по крайней мере к одной комнате. При этом в плотной застройке, в центре города, допускается ограничение необходимой продолжительности инсоляции до 1,5 ч, а в отношении однокомнатной квартиры в такой же застройке не определяется необходимой продолжительности инсоляции.

Допускается использование исключительно искусственного освещения в помещениях, предназначенных для людей, если: а) нет необходимости в использовании дневного света или он не нужен по технологическим условиям; б) это обусловлено функцией помещения, находящегося в подземной части здания или в части, которая лишена возможности поступления дневного света.

В случае, когда помещение, упомянутое выше, предназначается для постоянной работы исходя из условий безопасности и здоровья на работе, для использования только искусственного освещения, в том числе электрического, необходимо получить разрешение соответствующей государственной воеводской санитарной инспекции при согласовании с соответствующей трудовой районной инспекцией.

Помещения, предназначенные для пребывания людей, а также для общего перемещения (коридоры), должны иметь искусственное освещение соответственно в зависимости от потребностей пользователей. Искусственное освещение помещения, предназначенного для постоянного пребывания людей, должно обеспечивать соответствующие условия для возможности использования всей его поверхности. Освещение искусственным светом соединенных помещений, предназначенных для постоянного пребывания людей, а также для общего движения (коридоры), не должно создавать различий в интенсивности света, вызывающих чрезмерное ослепление при переходе между этими помещениями.

Несколько другие требования, касающиеся освещения, можно найти в общих правилах безопасности и гигиены труда [2]. Требуется в них, в частности, чтобы в рабочих помещениях было обеспечено естественное освещение, а если это невозможно или нецелесообразно из-за технологии производства, то использовалось исключительно искусственное освещение. Тогда работодатель должен получить

согласие соответствующего государственного воеводского санитарного инспектора по согласованию с районным инспектором труда.

Естественное освещение на отдельных рабочих местах должно соответствовать виду выполняемых работ и требуемой их точности, а также должно соответствовать требованиям, установленным в Польских Нормах.

Вне зависимости от естественного освещения в рабочих помещениях необходимо обеспечить электрическое освещение с параметрами, отвечающими требованиям Польских Норм.

Соотношение средних значений освещенности в смежных помещениях, через которые можно проходить, не должно быть больше, чем 5:1. При выходе из помещений, в которых из технологических соображений выполняется работа в темноте (например, фотолаборатория), должны предусматриваться условия, обеспечивающие постепенную адаптацию зрения.

В помещениях и на рабочих местах, в которых в случае отключения освещения может возникнуть опасность для жизни или здоровья сотрудников, необходимо обеспечить аварийное освещение, соответствующее требованиям, установленным в отдельных положениях Польских Норм.

Оборудование для освещения рабочих помещений в коридорах должно быть подобрано и выполнено так, чтобы не создавать опасности травмы у сотрудников при использовании данного типа освещения.

Окна, световые трубы и зенитные фонари в рабочих помещениях с повышенной влажностью воздуха должны быть изготовлены таким образом, чтобы предотвратить образование конденсата водяного пара на их поверхности. В случае образования обильного конденсата на поверхности и возможности падения капель воды на рабочее место необходимо установить желоба или другие устройства, отводящие воду с окон, световых труб и зенитных фонарей.

Стекла в окнах и зенитных фонарях должны быть чистыми и должны пропускать достаточное количество света. Необходимо обеспечить удобный и безопасный доступ для мытья окон и световых фонарей.

Окна и световые фонари должны быть оборудованы соответствующими устройствами, ограничивающими чрезмерное попадание солнечных лучей на рабочие места. Окна и световые фонари, предназначенные для проветривания помещений, должны иметь устройства, позволяющие открывать их легко и безопасно с уровня пола, и фиксацию открываемых частей в нужном положении.

Нормативные требования

Норма PN-EN 12464-1:2012 [3] определяет качественные требования и количественные показатели, касающиеся освещения помещений и рабочих мест внутри зданий. Содержит также рекомендации, необходимые при проектировании освещения, как, например, окружение освещения, распределение яркости, освещенность, объединенный показатель дискомфорта, направленное освещение, мерцание светового потока и стробоскопический эффект, индекс цветопередачи, коэффициент обслуживания и энергетические соображения. Описаны также вопросы, связанные с освещением рабочих мест.

Очень важным изменением, которое введено было в новый норматив [3], является обращение внимания на не-

обходимость более точного учета естественного освещения и значения дневного света в создании условий освещения помещений. Независимо от того, каким образом осуществляется освещение помещения, с помощью искусственного, естественного света или комбинированным способом требования к освещению остаются те же самые. Распределение светового потока является одним из основных параметров, характеризующих световую среду помещения. Получение сбалансированного распределения светового потока в интерьере требует учета влияния светового потока всех его поверхностей. Распределения светового потока надо определять с учетом как коэффициента отражения, так и освещенности на всех поверхностях.

Рекомендованные величины коэффициента отражения для основных поверхностей интерьера следующие: потолок – от 0,7 до 0,9; стены – от 0,5 до 0,8; пол – от 0,2 до 0,4; большие поверхности, например мебель, машины и т. д., – от 0,2 до 0,7.

Значения освещенности, указанные в норме, являются эксплуатационными значениями интенсивностей освещения в пределах поля выполняемого задания, на плоскости, которая может быть горизонтальной, вертикальной или наклонной. Средняя интенсивность освещения для любой выполняемой задачи не должна быть ниже, чем значение, приведенное в норме. Требования к освещенности надо выполнить независимо от возраста и состояния осветительных установок.

Рекомендуемые уровни освещенности:

- стена – $E_m > 50$ лк при однородности освещенности $U_o \geq 0,1$;
- потолок – $E_m > 30$ лк при однородности освещенности $U_o \geq 0,1$.

Рекомендуемые уровни освещенности в закрытых местах таких помещений, как, например, офисы, лекционные залы, больницы и холлы, коридоры, лестницы (стены и потолок должны быть более светлые):

- стена – $E_m > 75$ лк при однородности освещенности $U_o \geq 0,1$;
- потолок – $E_m > 50$ лк при однородности освещенности $U_o \geq 0,1$.

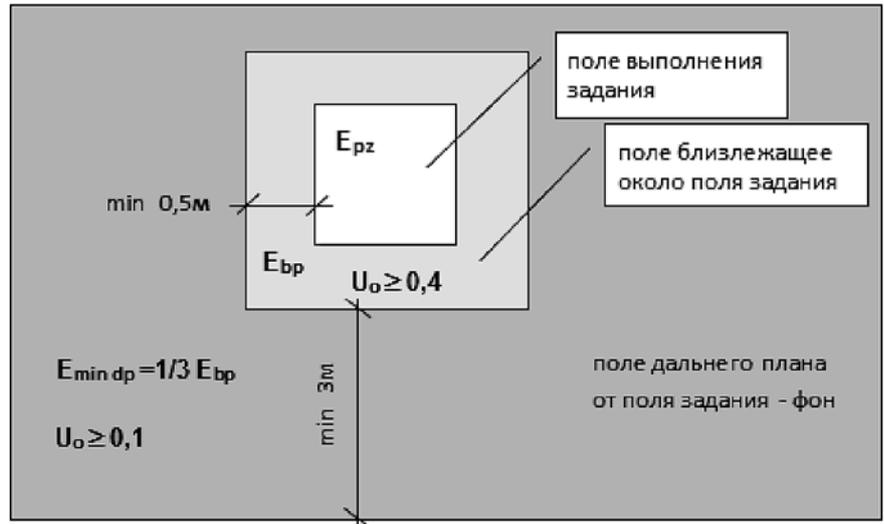


Рис. 1. Схема размещения поля выполнения; поля, близлежащего около поля задания; поля дальнего плана от поля задания (фона)

В новом нормативе изменены не только диапазоны требований, а также помещены советы по подбору соответствующих эксплуатационных значений освещенности на этих поверхностях. Существенная разница между старым и новым выпусками стандарта связана с требованиями уровня и распределения освещенности в помещении. Эти требования касаются не только поля выполняемого задания, но и непосредственного окружения, которое разделено на близлежащее и отдаленное, – так называемый фон.

В случае рабочих мест, размер которых и/или поле задания неизвестны:

- вся поверхность рассматривается как поле задания;
- вся поверхность равномерно освещена ($U_o \geq 0,4$), а уровень освещенности определяется проектировщиком освещения.

В нормативе уточнены понятия, в частности поле выполнения зрительного задания (task area) и область непосредственно вокруг поля выполнения задания (immediate surrounding area) определяются как полоса, окружающая область выполнения задания, в пределах поля зрения, без указания размеров области. Но по ранее существующим правилам можно принять, что она образует полосу шириной не менее 0,5 м. Введено дополнительное понятие «область/поле фона» (background area) – область шириной не

Таблица 1
Величины интенсивности освещения в поле выполнения задания;
поле, близлежащее около поля задания;
поле дальнего плана от поля задания (фона) [3]

Интенсивность освещения ($E_{m\text{ pz}}$) в поле задания	Интенсивность освещения ($E_{m\text{ bp}}$) поля, близлежащего около поля задания	Интенсивность освещения ($E_{m\text{ dp}}$) поля дальнего плана от поля задания (фона)
лк		
≥ 750	500	150
500	300	100
300	200	75
200	150	75
150	$E_{m\text{ pz}}$ в поле задания	50
100	$E_{m\text{ pz}}$ в поле задания	30
≤ 50	$E_{m\text{ pz}}$ в поле задания	20
При $U_o > 0,7 / 0,6 / 0,4$	При $U_o > 0,4$	При $U_o > 0,1$

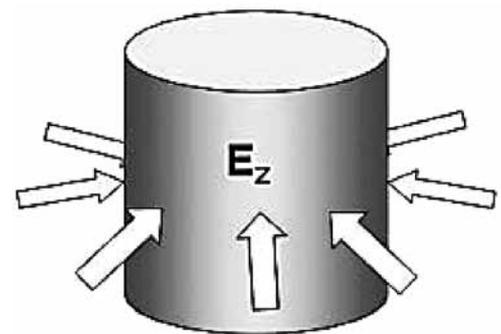


Рис. 2. Графическая иллюстрация определения цилиндрической освещенности [4]

Таблица 2

Избранные требования по освещению для некоторых школьных и административных помещений [3]

Вид здания, помещения; задания или деятельность	E_m	$UGR_{L\max}$	$U_{o, \min}$	$R_a \min^*$	Специальные требования
	лк	–	–	–	
Классы	300	19	0,6	80	Рекомендуется управляемое освещение
Классы для обучения вечером и взрослых	500	19	0,7	80	Рекомендуется управляемое освещение
Доски черные, зеленые и белые	500	19	0,7	80	Исключение отражения света; на учителя должен падать вертикальный свет с соответствующей интенсивностью (E_v)
Мастерские в художественных школах	750	19	0,7	90	$TCP \geq 5000K < 6500K$
Экспозиционные столы	750	19	0,7	90	
Языковые лаборатории	300	19	0,6	80	
Холлы входные	200	22	0,4	80	
Столовые	200	22	0,4	80	
Коридоры	100	28	0,4	40	
Сортировка, копирование	300	19	0,4	80	Рабочее место с DSE (устройство с монитором)
Письмо, печатание на машинке, чтение, обработка данных	500	19	0,6	80	
Черчение	750	16	0,7	80	
Места работы с использованием CAD	500	19	0,6	80	Рабочее место с DSE (устройство с монитором)
Конференц-залы и залы для проведения встреч	500	19	0,6	80	Рекомендуется управляемое освещение
Места регистрации	300	22	0,6	80	
Архивы	200	25	0,4	80	

* Лампы с индексом цветопередачи ниже $R_a=80$ не должны использоваться в помещениях, где продолжительное время работают или находятся люди.

мене 3 м, непосредственно соприкасающаяся с областью, окружающей поле выполнения задания (рис. 1).

В табл. 1 указаны требования к освещенности для этих областей из рис. 1.

Таким образом, норматив [3] обращает внимание не только на освещение поля выполнения самого зрительно-го задания, но и на остальное пространство, в котором находятся и работают люди. О правильном освещении внутреннего пространства свидетельствует достижение рекомендуемой средней величины и однородности цилиндрической освещенности. Соответствующие значения этих параметров обеспечивают хорошую зрительную связь и правильную идентификацию объектов в пространстве. Освещение пространства в интерьере имеет прямую связь с моделированием освещения, когда норма содержит точные указания. Моделирование должно рассматриваться как определенное состояние равновесия между направленным и рассеянным светом. В норматив введен параметр – показатель моделирования, определяемый как отношение цилиндрической освещенности (рис. 2) к горизонтальной. Избранные требования по освещенности помещений приведены в табл. 2.

Ослепленность – это ощущение создаваемое яркими участками в пределах поля зрения, такими как освещенные поверхности, части светильников, окон и/или зенитных фонарей.

Ослепленность надо ограничивать, так чтобы избежать ошибок, усталости и несчастных случаев. Показатель ослепления UGR – (Unified Glare Rating) не должен превышать нормативных значений этого показателя. Эти значения образуют ряд величин: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28.

Работоспособность зрительная, ощущение комфорта и хорошее самочувствие требуют, чтобы цвета в окружающей среде, товары и человеческая кожа, отдаются, есте-

ственно, правильно и в способ, который подходит людям привлекательный и здоровый вид.

Индекс цветопередачи – показатель ощущения цвета R_a . Для этой цели применяется общий объективный показатель отдачи цвета источником света. Лампы с индексом ниже $R_a = 80$ не должны использоваться в помещениях, где продолжительное время работают или находятся люди.

Сетка точек для расчета освещенности

Норма [3] устанавливает подробные рекомендации относительно создания сетки точек, используемых для расчета и контроля освещенности. Строго определяется максимальное расстояние между точками, а также отношение длины к ширине ячейки сетки. Ячейки сетки должны быть по форме близки к квадрату, в котором отношение длины к ширине находится в диапазоне 0,5 и 2, а максимальный размер не превышает значения:

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10} d},$$

где $p \leq 10$ м; p – максимальный размер ячейки сетки; d – длина поля, когда отношение длины к ширине меньше 2; если это условие не выполнено, d – это размер короткой стороны.

Количество точек с длинной стороны – это округленное число, получаемое при делении d/p .

Новые требования [3] предполагают исключение из области расчетов полуметровой полосы вдоль стен, за исключением ситуации, в которой хотя часть области зрительного задания содержится в этой полосе, когда место работы находится в пределах этого пояса.

Аналогичным образом определяется количество и расположение точек на стенах и потолке.

Таблица 3
Параметры и количество расчетных точек для оценки условий освещенности в поле зрительного задания и его окрестности

Длина поля, d	Максимальное расстояние между точками, p	Минимальное количество расчетных или контрольных точек
м		шт.
0,4	0,15 (0,1)	3 (4)
0,6	0,2 (0,14)	3 (4)
1	0,2	5
2	0,3	6 (7)
5	0,6	8
10	1	10
25	2	12 (13)
50	3	16 (17)
100	5	20

Освещение внутреннего пространства

Кроме создания определенных условий освещения поля зрительного задания надо обеспечить освещение пространства, в котором находятся люди. Это необходимо для возможности восприятия формы объектов, их фактуры, а также четкого зрительного контакта между людьми, находящимися в помещении. Эти условия описывает параметр – средняя цилиндрическая освещенность.

Хорошая зрительная коммуникация и идентификация объектов в интерьере требуют соответствующего освещения пространства, в котором находятся люди. Такого состояния можно достичь, обеспечивая необходимый уровень средней цилиндрической освещенности (рис. 2).

Рекомендуемый минимальный уровень цилиндрической E_z освещенности должен составлять $E_z \geq 50$ лк при однородности освещения $U_o > 0,1$.

Для людей в сидячем состоянии вычисляется (измеряется) освещенность при высоте 1,2 м, а для стоящих – 1,6 м. В зонах, где очень важную роль играет хорошая зрительная связь, особенно в офисных помещениях, местах встреч и обучения, должен быть обеспечен уровень, $E_z \geq 150$ лк при однородности освещения $U_o > 0,1$.

Освещение интерьера не должно образовывать резких теней и не должно быть слишком рассеянным. Обеспечивается это при получении оптимального баланса между рассеянным и направленным светом. Рекомендуется, чтобы соотношение между цилиндрической E_z и горизонтальной E_h интенсивностью освещения в точке имело значение между 0,3 и 0,6.

Повышение энергетической эффективности систем освещения

В норме сильно подчеркнут аспект использования дневного света для освещения рабочих мест. Связано это с некоторым потенциалом экономии в потреблении электроэнергии благодаря использованию дневного света. Свет этот характеризуется большой изменчивостью уровня интенсивности освещения, спектрального состава, зависящих от времени суток и погодных условий. Свет существенно влияет на моделирование освещения внутри помещения и является управляющим элементом в системах интеллектуального освещения. В норме введены некоторые требования, касающиеся ограничения диапазона цветовой

температуры как для электрического освещения, так и для дневного.

В настоящее время стало почти нормой, особенно в общественных зданиях, проектирование систем освещения с системами управления, учитывающими изменчивость дневного света. Системы интеллектуального освещения используют достижения технического прогресса в области электроники и передачи данных, увеличивая функциональность установки и комфорт пользователей. Однако основным критерием их выбора должна быть возможность получения значительного сбережения энергии и улучшения экологических показателей. Учет этих качеств должен компенсировать большую стоимость таких решений и получение отдачи вложенных дополнительных средств в рациональные сроки.

Если интеллектуальное освещение запрограммировано с использованием светодиодов LED, то можно получить очень высокую эффективность дополнительно за счет снижения потребления электроэнергии. Светильники могут быть оснащены различного рода датчиками, реагирующими на текущую ситуацию. Система может быть оснащена дистанционным управлением, а также датчиками и счетчиками, облегчающими обслуживание и эксплуатацию всей системы [6, 7].

Считается, что применение систем интеллектуального освещения LED позволяет получить эффективность сокращения потребления электроэнергии, достигающую уровня даже более чем 80% [4] по отношению к традиционным системам с применением светильников или люминесцентных ламп без элементов управления.

Согласно рекомендациям [5] стеклопакеты окон, размещенных на северном фасаде, должны иметь коэффициент трансмиссии света (L, T) по крайней мере 75%. По соображениям, связанным с необходимостью эффективного использования естественного света, рекомендуется, чтобы глубина помещений, расположенных с восточной, южной и западной сторон, не должна быть более 5,5 м. А глубина помещений расположенных с северной стороны, – не более чем 3,5 м. Коэффициент использования дневного света Daylight Фактор не может быть меньше, чем 1,5%. С точки зрения энергосбережения тепла рекомендуется, чтобы южный фасад содержал не менее 40% прозрачных преград, северный не более 25%, остальные не более чем 30%.

Таблица 4
Значение допустимого значения удельной мощности освещения

Тип здания	Максимальное значение удельной мощности, Вт/м ²		
	Класс критериев*		
	A	B	C
Офисное здание	15	20	25
Школы	15	20	25
Больницы	15	25	35
Рестораны	10	25	35
Спортивно-рекреационные	10	20	30
Торгово-бытовые	15	25	35

* Устанавливаются следующие классы критериев освещения: А – выполнение критериев освещения на базовом уровне; В – выполнение критериев освещения в расширенной степени; С – выполнение критериев освещения в степени полной с учетом визуальной коммуникации.

Коэффициент пульсации освещенности КП(%)

- Световой поток. Световая энергия, излучаемая в единицу времени источником света. Единица измерения: люмен (лм).
- Сила света. Световой поток, излучаемый в заданном направлении неравномерно распределенным светом. Единица измерения: кандела (кд).
- Уровень освещенности. Уровень освещенности 1 м² поверхности, на который падает световой поток в один люмен. Единица измерения: люкс = лм/м².
- Яркость, или фотометрическая яркость. Определяется для поверхности в определенном направлении и является отношением силы света к поверхности, видимой наблюдателем, находящимся в том же направлении (кажущаяся площадь). Единица измерения: кд/м².
- Контрастность. Разница в яркости между объектом и его окружением или между различными частями объекта.
- Коэффициент отражения. Пропорция света, отраженного поверхностью. Это безразмерная величина. Ее значения находятся между 0 и 1.

Согласно рекомендациям [1] в общественных зданиях, значение удельной мощности освещения не может превышать определенных допустимых величин (табл. 4).

В соответствии с распоряжением (Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz. U. z 2015r., poz 376)) потребление энергии на нужды освещения следует определять на основе польской нормы нормы PN-EN 15193. Наиболее важным параметром, который следует здесь рассчитать, является так называемый Числовой Показатель Энергии Освещения LENI (англ. Lighting Energy Numeric-Фактор), который выражается формулой:

$$LENI = W/A_L, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год}),$$

где W – полное годовое потребление энергии зданием на освещение помещений, кВт·ч/год; A_L – поле пола освещаемых помещений здания, м², причем $W = W_L + W_P$. Тогда $LENI = (W_L + W_P)/A$, где W_L – годовая величина энергии потребляемой на освещение, необходимой для выполнения функций и целей освещения здания, то есть это основное освещение; W_P – величина годовой дополнительной энергии, необходимой для аварийного освещения, энергии для обеспечения режима ожидания освещения, для управления освещением в здании, дополнительной энергии потребляемой для зарядки аккумуляторов для аварийного освещения, а также для работы автоматики, когда основное освещение выключено.

Для определения энергетической характеристики здания надо рассчитать годовое потребление конечной энергии. Для встроенного освещения $Q_{k,L}$ определяется по формуле:

$$Q_{k,L} = LENI \cdot A_L, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}.$$

К основным качественным показателям освещения относятся фон, контраст объекта с фоном, видимость, показатель ослепленности и дискомфорта, коэффициент пульсации.

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается.

Показатель ослепленности P – критерий оценки слепящего действия осветительной установки; S – коэффициент ослепленности, равный $V1/V2$; $V1$ и $V2$ – видимость объекта наблюдения при экранировании блестящих источников света и без экранирования соответственно.

Показатель дискомфорта M – критерий оценки дискомфортной блестякости, вызывающий неприятные ощущения при неравномерном распределении яркости в поле зрения.

Список литературы

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
2. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. z 2003 r. nr 169, poz. 1650 z późn. zm.).
3. PN-EN-12464-1: 2012. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
4. Górczewska M., Efektywność energetyczna w oświetleniu. Nowe wymagania i możliwości. III Konferencja naukowo-technicznej „Energooszczędność w oświetleniu”, Poznań, 8.05.2012.
5. Podpora E., Sasin T., Szymaoska-Rzeźnik K., Żach J. Założenia projektowania bryły, elewacji i przegród zewnętrznych budynków w standardzie MBJ2030. Warszawa 2010.
6. Pawlak A., Zmiany w wymaganiach znowelizowanej europejskiej normy oświetleniowej. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 255.2012. No. 9.
7. Pabjanczyk W., Inteligentne instalacje oświetlenia wewnątrz w kontekście zmian normy PN-EN 12464-1 (część 1). Elektro-info. 2014. No. 1–2.

References

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75, poz. 690 z późn. zm.). (In Poland).
2. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. z 2003 r. nr 169, poz. 1650 z późn. zm.). (In Poland).
3. PN-EN-12464-1: 2012. Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach. (In Poland).
4. Górczewska M., Efektywność energetyczna w oświetleniu. Nowe wymagania i możliwości. III Konferencja naukowo-technicznej „Energooszczędność w oświetleniu”, Poznań, 8.05.2012. (In Poland).
5. Podpora E., Sasin T., Szymaoska-Rzeźnik K., Żach J. Założenia projektowania bryły, elewacji i przegród zewnętrznych budynków w standardzie MBJ2030. Warszawa 2010. (In Poland).
6. Pawlak A., Zmiany w wymaganiach znowelizowanej europejskiej normy oświetleniowej. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 255.2012. No.9. (In Poland).
7. Pabjanczyk W., Inteligentne instalacje oświetlenia wewnątrz w kontekście zmian normy PN-EN 12464-1 (część 1). Elektro-info. 2014. No. 1–2. (In Poland).

УДК 378.14.01562:621.31-057.875

И.А. ЧЕРНЫШКОВА, доцент, Н.А. БУЗАЛО, канд. техн. наук (Buzalo_n@mail.ru), А.А. БУДКО, студент
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова
(346400, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132)

Формирование профессиональных компетенций студентов в области энергосбережения

Выполнено сравнение пакетов прикладных программ, предназначенных для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций зданий. Выбор программ осуществлен по принципу доступности для студентов, обучающихся по строительным специальностям. При проектировании энергоэффективных ограждающих конструкций необходимо определять параметры теплопередачи с помощью расчетов двумерных или трехмерных температурных полей, что возможно при использовании программы *Temper 3D*. В расчетном комплексе *Elcut* возможно только двумерное моделирование. Пакет *LIT Thermo Engineer* позволяет определять теплозащитные характеристики ограждений, содержит редактируемые и пополняемые справочники ограждающих конструкций, материалов, элементов неоднородностей ограждающих конструкций, климатических параметров. Выпускник высшего учебного заведения должен обладать рядом профессиональных компетенций, в том числе владеть методами и средствами компьютерного моделирования с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, стандартных пакетов автоматизации исследований.

Ключевые слова: теплотехнический расчет, энергоэффективные ограждающие конструкции, специализированные пакеты прикладных программ.

I.A. CHERNYSHKOVA, Docent, N.A. BUZALO, Candidate of Sciences (Engineering) (Buzalo_n@mail.ru), A.A. BUDKO, Student
South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov
(132, Prosveshenya Street, Novocherkassk, 346400, Russian Federation)

Formation of Professional Competences of Students in the Field of Energy Saving

The comparison of application program packages intended for thermotechnical calculations of enclosing structures of buildings is made. The selection of programs is made by the principle of accessibility for students training in construction professions. When designing energy efficient enclosing structures, it is necessary to determine the parameters of heat transfer with the help of calculations of two-dimensional or three-dimensional temperature fields, this is possible using the program *Temper 3D*. The calculation complex *Elcut* is only for two-dimensional simulation. The package *LIT Thermo Engineer* makes it possible to determine heat-protection characteristics of enclosures and contains editable and updated reference books about enclosing structures, materials, elements of heterogeneities of enclosing structures, climatic parameters. The graduate must have a number of professional competences, including knowledge of methods and means of computer simulation using universal and specialized software and computing systems, standard packages for automation of research.

Keywords: thermotechnical calculation, energy efficient enclosing structures, specialized packages of application programs.

Переход на новые образовательные стандарты высшего образования изменил подход к понятию качества подготовки специалиста. Происходит переориентация оценки результата образования от понятий «образованность», «общая культура» к понятию «компетентность». Проектирование и возведение зданий и сооружений в настоящее время невозможно без использования информационных технологий, требующих от инженера специальной подготовки [1]. Студенту необходимо предоставить уже на университетской скамье возможность использования передовых промышленных пакетов прикладных программ, в том числе и при проектировании энергоэффективных ограждающих конструкций [2, 3]. Для теплотехнических расчетов давно используют разнообразные программы: *Base*, *SmartCalc*, *NormCAD*, *ROK '2011* и т. д. [4]. С введением СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» величины, необходимые для подсчета приведенного сопротивления теплопередаче, следует определять с помощью расчетов двумерных или трехмерных температурных полей [5, 6].

Наиболее известные программы, позволяющие это сделать – *Temper 3D* и *Elcut*.

Программа *Temper 3D* (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006610359) для расчета температурного поля ограждающих конструкций использует метод конечных элементов (МКЭ). В качестве конечного элемента принимается восьмиузловой изопараметрический элемент с тринейным распределением температуры. Результаты теплотехнического расчета могут быть представлены в виде цветных температурных полей (изотерм), полученных по любому сечению ограждающей конструкции.

Создается модель фрагмента ограждающей конструкции посредством определенного набора инструментов. Количество узлов сетки ограничено. В демонстрационную версию программы включено 5 тыс. узлов, в профессиональной версии пользователю отводится до 80 тыс. узлов. После создания модели задаются исходные данные расчета: внутренняя и наружная температура, коэффициенты теплоотдачи и теплопроводности материалов.

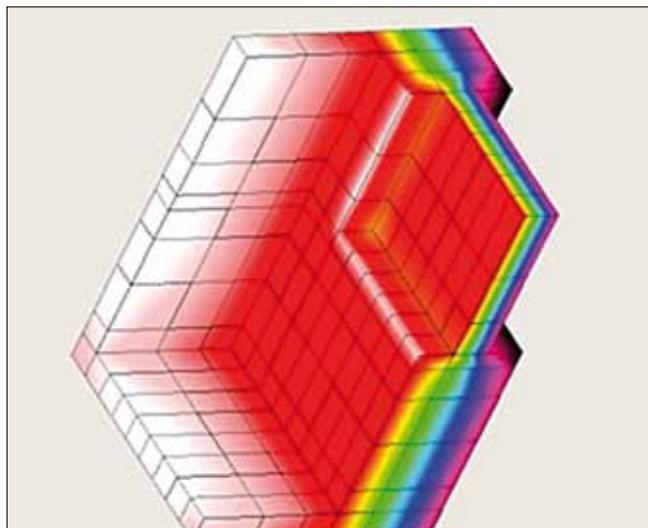


Рис. 1. Температурное поле в программе Temper 3D

Производится предварительный расчет, по результатам которого можно выяснить значения температуры в любой точке конструкции. Для более точного расчета теплового поля (рис. 1) необходимо отправить модель на сервер разработчика, где выполняется расчет, и готовая модель отправляется пользователю.

Достоинства программы *Temper 3D*: не требуется больших затрат времени на освоение; реализована возможность анализа трехмерной модели, можно определить температуру в любой точке конструкции. Недостатки программы *Temper 3D*; интерфейс по созданию трехмерной модели фрагмента конструкции сложен для пользователя, много лишних манипуляций перед расчетом; ограничения бесплатной версии сводят программу к обычному теплотехническому калькулятору; отсутствует возможность автоматического составления отчета; для детального расчета необходим доступ в Интернет.

Тем не менее это одна из немногих программ на Российском рынке софта, способная строить трехмерные температурные поля.

Таблица 1

Слой, материал	Толщина слоя, м	Плотность материала, кг/м ³	Расчетный коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°С)
Однослойная кирпичная стена			
Кладка из керамического кирпича	0,64	1800	0,81
Слой штукатурки	0,015	1800	0,93
Многослойная стеновая конструкция			
Слой штукатурки	0,015	1800	0,93
Газобетон	0,3	400	0,15
Изоляция	0,13	145	0,048
Облицовочный кирпич	0,12	1800	0,81

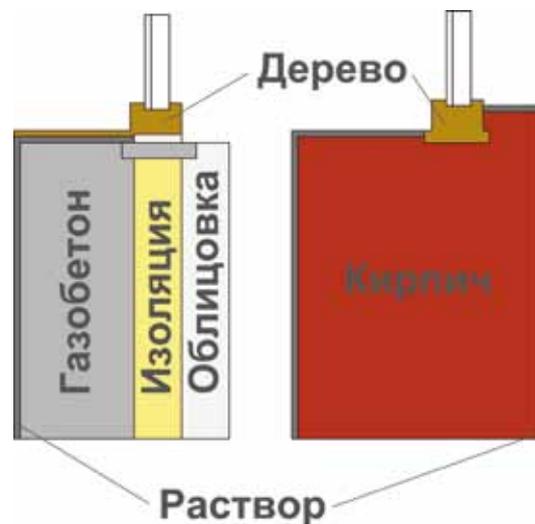


Рис. 2. Геометрия узла для двух вариантов конструкции стены

Расчетный комплекс *Eicut*, основанный на МКЭ, предназначен для моделирования 2d температурных полей, решения задач стационарной и нестационарной теплопередачи. Как правило, интерес представляют распределение температуры, температурного градиента и теплового потока. Решая нестационарную тепловую задачу, можно проанализировать изменение температуры во времени.

Пакет *Eicut* может выполнять линейный и нелинейный температурный анализ в плоской и осесимметричной постановке. Формулировка задачи основывается на уравнении теплопроводности с граничными условиями радиационного и конвективного теплообмена.

Достоинства комплекса *Eicut*: возможно вычисление различных интегральных значений на определенных пользователем линиях и поверхностях; распределение температуры может быть передано в задачу расчета механического напряженного состояния (совмещенная термоупругая задача) или в задачу расчета нестационарного теплового поля.

Недостатки расчетного комплекса *Eicut*: демонстрационная версия ограничивает количество узлов сетки до 250, что не оставляет возможности рассчитать даже простое температурное поле; нет возможности построения трехмерных моделей; в связи с большим набором функций, программа достаточно сложна в освоении; нет возможности автоматического формирования отчета.

Расчет теплозащиты стен зданий является важным этапом проектирования. Через теплопроводные включения: межэтажные перекрытия, оконные откосы, балконные плиты, кронштейны крепления систем облицовки утеплителя и др. неотъемлемые элементы фасада – создаются дополнительные потоки теплоты, что в итоге приводит к увеличенным теплотерям, которые на практике, как правило, не учитываются [7].

Дополнительные теплотери приводят к снижению уровня теплозащиты. Следовательно, необходимо рассчитывать удельные дополнительные потоки теплоты через каждое теплопроводное включение [8, 9].

В рамках студенческой работы был выполнен расчет дополнительных теплотер через оконный откос для двух вариантов конструкции стены (рис. 2) с использова-

Таблица 2

Однослойная кирпичная стена	Многослойная современная конструкция
Мощность теплового потока в зоне оконного проема, $Q_{ст}$, Вт/м	
22,564	5,045
Мощность теплового потока через откос $Q_{отк}$, Вт/м	
17,111	4,325
Тепловой поток через однородную конструкцию тех же размеров, $Q_{усл}$, Вт/м	
33,694	6,815
Дополнительная плотность теплового потока, обусловленная теплопроводным включением, $Q_{доп}$, Вт/м	
5,981	2,555
Количество погонных метров расчетных участков оконных откосов L , приходящееся на расчетную площадь, м/м ²	
1,041	1,041
Дополнительная плотность теплового потока, обусловленная данным теплопроводным включением, $q_{доп}$, Вт/м ²	
6,226	2,66
Доля дополнительных теплопотерь по глади конструкции $q_{доп}/q_{усл}$, д. ед.	
0,185 (18,5%)	0,39 (39%)

нием программного комплекса *Eicut*. Тип задачи – стационарная теплопередача.

Исходные данные для расчета: температура внутри помещения $T_1=+20^{\circ}\text{C}$; температура наружного воздуха $T_2=-32^{\circ}\text{C}$. Материалы узла представлены в табл. 1.

Требуется рассчитать удельные дополнительные потоки тепла через оконный откос для однослойной кирпичной стены и многослойной стеновой конструкции.

На рис 3. показаны температурные поля, полученные в комплексе *Eicut* в табл. 2; численные значения рассчитанных параметров.

Новый программный продукт (2014 г. выпуска) *LIT Thermo Engineer* (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2014617857), разработанный на основе СП 50.13330.2012, может быть рекомендован для использования в учебном процессе, так как достаточно прост в освоении, результаты расчета представляются в удобном и наглядном виде.

Список литературы

1. Чернышкова И.А., Бузало Н.А. Проблемы внедрения информационных технологий при многоуровневой подготовке специалистов строительного профиля. *Материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Научно-методические основы двухуровневой системы образования (состояние, перспективы развития)»*. Москва. 5–8 ноября 2008. С. 176–183.
2. Выговский П.Н., Круглая Н.В., Бузало Н.А. Определение теплотехнических параметров главного корпуса Южно-Российского государственного технического университета // *Вестник МГСУ*. 2012. Т. 2. С. 99–103.
3. Чернышкова И.А., Бузало Н.А., Григоров Н.И. Снижение теплопотерь наружной оболочки зданий исторической застройки с использованием инновационных материала-

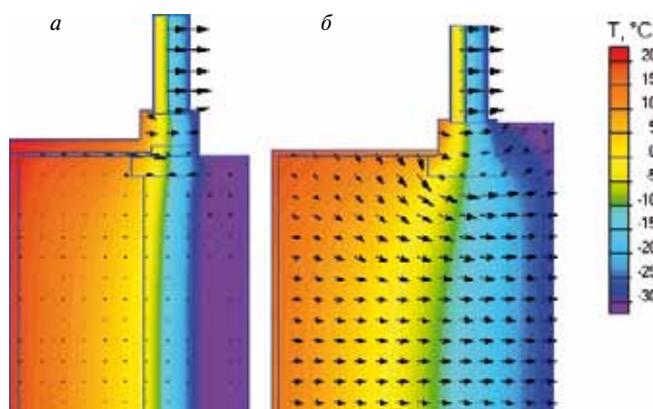


Рис. 3. Температурное поле узла для двух вариантов конструкции стены: а – однослойная кирпичная стена; б – многослойная стеновая конструкция

Достоинства программы *LIT Thermo Engineer*: соответствует требованиям современной нормативной документации; выполняет расчеты: приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или любой выделенной ограждающей конструкции, параметров отопительного периода, требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, удельной теплозащитной характеристики элементов или здания, нормируемой теплозащитной характеристики здания, коэффициентов удельных теплопотерь через узлы неоднородности ограждающих конструкций; выполняет нахождение теплового потока через ограждение и т. д. Пакет содержит редактируемые и пополняемые справочники ограждающих конструкций, материалов, элементов неоднородностей ограждающих конструкций, климатических параметров.

В требованиях к результатам освоения программы бакалавриата по направлению «Строительство» указывается, что выпускник должен обладать рядом профессиональных компетенций, в том числе владеть методами и средствами компьютерного моделирования с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, стандартных пакетов автоматизации исследований. Это может быть достигнуто только в случае наличия таких комплексов в образовательных организациях и обеспечения свободного доступа к ним студентов.

References

1. Chernyshkova I.A, Buzalo N.A. Problems of introduction of information technologies in multilevel training of construction professionals and workers. *Materials of the scientifically-practical conference. «Scientific and methodological basis for a two-tier system of education (state and prospects of development)»*. Moscow. 5–8 November 2008. MIKHIS, pp. 176–183. (In Russian).
2. Vygovskiy P.N., Kruglaya N.V., Buzalo N.A. Determination of thermal parameters of the main building of South-Russian State Technic University. *Vestnik MGSU*. 2012. Vol. 2, pp. 99–103. (In Russian).
3. Chernyshkova I.A, Buzalo N.A., Grigorov N.I. Reducing heat loss of the outer shell of buildings of historical buildings using innovative materials. *Materials of the international*

- лов. *Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы экологической безопасности и энергосбережения в строительстве и ЖКХ»*. Кавала (Греция). 18–29 августа 2014. С. 127–130.
4. Туснина О.А. Программный комплекс для теплотехнического расчета строительных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. № 4. С. 51–54.
 5. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О комплексном показателе тепловой оболочки здания // *АВОК*. 2010. № 4. С. 1–10.
 6. Матросов Ю.А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения. М.: НИИСФ, 2008. 496 с.
 7. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и в европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
 8. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Неклюдов А.Ю. Учет теплопроводных включений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания. *Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы экологической безопасности и энергосбережения в строительстве и ЖКХ»*. Кавала (Греция). 18–29 августа 2014. С. 94–107.
 9. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботарев А.Г. Из истории нормирования тепловой защиты зданий. *Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы экологической безопасности и энергосбережения в строительстве и ЖКХ»*. Кавала (Греция). 18–29 августа 2014. С. 108–126.
- scientifically-practical conference «The problems of ecological safety and energy efficiency in construction and GKH»*. Kavala (Greece). 18–29 August 2014, pp. 127–130.
4. Tushina O.A. Software package for the thermal analysis of building structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 4, pp. 51–54. (In Russian).
 5. Gagarin V.G., Kozlov V.V., A composite indicator of thermal shell of the building. *AVOK*. 2010. No. 4, pp. 1–10. (In Russian).
 6. Matrosov U.A. Energoberezhnie v zdaniyakh. Problema i puti ee resheniya [Energy saving in buildings. The problem and its solution]. Moscow: NIISF. 2008. 496 p.
 7. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. Accounting heat engineering heterogeneities when assessing the thermal protection of enveloping structures in Russia and European Countries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
 8. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Neklyudov A.U. Accounting of heat-conducting inclusions in determining the thermal load on the heating system of the building. *Materials of the international scientifically-practical conference «The problems of ecological safety and energy efficiency in construction and GKH»*. Kavala (Greece). 18–29 August 2014, pp. 127–130.
 9. Umnykova N.P., Butovskiy I.N., Chebotarev A.G. From the history of regulation of thermal protection of buildings. *Materials of the international scientifically-practical conference «The problems of ecological safety and energy efficiency in construction and GKH»*. Kavala (Greece). 18–29 August 2014, pp.108–126.

НОВОСТИ

Дом, который производит больше энергии, чем потребляет

В Австралии представлен сборный дом Carbon Positive House архитектурной компании ArchiBlox, который помимо привлекательного внешнего облика, имеет более серьезное преимущество: множество впечатляющих экологически чистых технологий. Этот уютный коттедж площадью 74,3 м² обеспечен благоприятный микроклимат при любых погодных условиях за счет корпуса с герметичной воздухопроницаемой оболочкой. На крыше дома установлена солнечная панель, производящая большее количество энергии, нежели необходимо для комфортного проживания в доме.

Для максимального поступления солнечного света и тепла в непогоду разработчики решили покрыть от пола до потолка передний фасад дома стеклопакетами, что так же обеспечит возможность использования технологий пассивного дома. Иначе говоря, стандартные механические системы отопления и охлаждения в доме заменили на систему естественной вентиляции со встроенными в конструкцию дома трубами – вентиляционными каналами, по которым вытягивается прохладный воздух с южной стороны здания.

Дополнительную изоляцию постройке придает озелененная крыша, а для создания теневых зон и дополнительного охлаждения в летний сезон установлены ряды горшков с зеленой растительностью, напоминающие вертикальные сады, вошедшие в моду с недавних пор.

Внутри дом разделен на две зоны: буферную и жилую. На одной стороне находится терраса, застекленная двойными стеклопакетами, на другой расположены жилые помещения: столовая открытой планировки, кухня, спальня и ванная комната. От помещений общего назначения частную зону отделяет модульная древесная перегородка. Интерьер украшают светлые панели из натуральной сертифицированной древесины и другие предметы, сделанные из нетоксичных материалов. Энергосберегающее сантехническое оборудование работает на переработанной дождевой воде. В настоящее время дом выставлен на городской площади Мельбурна.

По материалам www.vzavtra.net

УДК 699.86

В.В. КОЗЛОВ, канд. техн. наук (Kozlov.v2@yandex.ru)
Т.-Э.А. ТИШНЕР-ЕГОРОВА, инженер (t-e.tischner@hotmail.com)

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21)
ООО «АЦэт Арматурэн Евразия» (191015, г. Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, 54, лит. В)

Взаимовлияние точечных теплотехнических неоднородностей

Введение в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» в строительную практику новой методики расчета приведенного сопротивления теплопередаче требует для расчета знания удельных потерь теплоты. Работа посвящена вопросу возможности применения введенного в СП 50.13330.2012 подхода, представлению ограждающих конструкций в виде независимых теплозащитных элементов, пределам взаимовлияния точечных теплотехнических неоднородностей. Сложность поставленного вопроса вынуждает решать его для частных примеров, обобщая получающиеся результаты. Рассмотрено взаимовлияние точечных теплопроводных включений, так как для линейных теплопроводных включений подобная работа проведена ранее. Общий вывод – взаимовлияние мало для узлов, имеющих практическое значение. Поэтому не требуется дополнительно рассматривать взаимодействие линейного и точечного теплопроводных включений между собой. Таким образом, охвачено все многообразие возможных вариантов взаимовлияния теплопроводных включений.

Ключевые слова: теплоперенос, приведенное сопротивление теплопередаче, распределение температуры, теплотехническая неоднородность, удельные потери теплоты.

V.V. KOZLOV, Candidate of Sciences (Engineering) (Kozlov.v2@yandex.ru), Т.-Э.А. TISHNER-EGOROVA, Engineer (t-e.tischner@hotmail.com)
Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)
LLC «AZ ARMATUREN EURASIA» (Liter B, 54, Shpalernaya Street, Saint-Petersburg, 191015, Russian Federation)

Inter-Influence of Point Thermo-Technical Heterogeneities

Introducing the new methodology of calculation of the reduced resistance to heat transfer in the building practice according to SP 50.13330.2012 «Heat Protection of Buildings» requires knowledge of specific heat losses for the calculation. This work is devoted to the possibility of using the introduced in SP 50.13330.2012 approach, presentation of enclosing structures as independent heat protection elements, limits of interaction of point thermo-technical heterogeneities. The complexity of this problem forces to solve it for individual examples, generalizing then results obtained. The inter-influence of point heat-conducting inclusions is considered, since for linear heat-conducting inclusions the similar work has been made before. The general conclusion: inter-influence is small for the nodes which are of practical importance. So it is not necessary to consider additionally the interaction of linear and point heat-conducting inclusions between each other. Thus, the whole variety of possible variants of inter-influence of heat-conducting inclusions is covered.

Keywords: heat transmission, reduced resistance to heat transfer, temperature distribution, thermo-technical homogeneity, specific heat losses.

В современном нормировании тепловой защиты зданий важнейшую роль играет приведенное сопротивление теплопередаче. Правильность и точность расчета приведенного сопротивления теплопередаче во многом зависят от разбиения конструкции на теплозащитные элементы. Ошибка в таком разбиении неизбежно приведет к искажению рассчитываемой конструкции и в общем случае к неверному результату. Помощь в правильном разбиении конструкции должны оказать рекомендации СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и недавно вышедший СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей». Существенным остается вопрос о правомочности разбиения конструкций на теплозащитные элементы и значимости погрешности расчетов, появляющейся вследствие разбиения. Частично этот вопрос рассмотрен в [1], где сформулирован подход к решению данной проблемы. Также в статье показано, что для линейных теплотехнических неоднородностей, характерных для возводимых в настоящее время ограждающих конструкций, возникающая погрешность мала и они могут рассматриваться независимо, т. е. считаться их теплозащитными элементами.

Актуальность темы расчетов приведенного сопротивления теплопередаче с помощью разделения конструкции на

представительные узлы подтверждается обилием публикаций на эту тему как в российской, например [2–4], так и в зарубежной, например [5–10], литературе.

Исследование, аналогичное статье [1], необходимо провести и для точечных неоднородностей. Некоторые предпосылки исследования можно встретить в статьях [2–5].

Развивая представления [1], необходимо рассмотреть пределы независимости и особенности взаимовлияния для точечных теплотехнических неоднородностей. Важнейшим отличием точечных неоднородностей от линейных является то, что тепловая энергия от линейных и от точечных источников перераспределяется конструкцией по-разному. От точечного источника волна температуры расходится кругами, захватывая все большую площадь, и таким образом быстрее (на меньшем удалении) теряет температуру и энергию. Получается, что взаимовлияние точечных теплотехнических неоднородностей должно иметь меньшее значение, чем взаимовлияние аналогичных по мощности линейных теплотехнических неоднородностей. Действительно, чисто геометрически влияние точечной неоднородности убывает с расстоянием быстрее, чем влияние линейной неоднородности. Значит, и взаимовлияние с расстоянием должно исчезать быстрее.

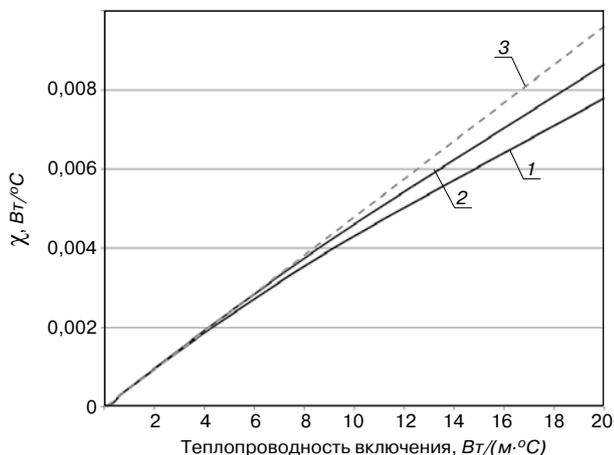


Рис. 1. Зависимость удельных потерь теплоты от теплопроводности включения малого сечения: 1 — результат прямого расчета температурного поля; 2 — результат, полученный удвоением удельных тепловых потерь при удвоении «добавочной» теплопроводности включения; 3 — случай «абсолютно независимых (идеальных) теплозащитных элементов» — линейная зависимость

Несмотря на эти рассуждения, рассмотрим взаимовлияние точечных теплотехнических неоднородностей на примерах. Существенным отличием точечных теплопроводных включений является разнообразие их геометрических размеров. Все расчеты в статье [1] проводятся для типовой ширины теплопроводного включения, анализ влияния его размеров не проводится. Это оправданно свойствами исследуемого объекта и позволяет получить удовлетворительную точность. Для точечных теплотехнических неоднородностей такой подход оказывается неприменимым, по крайней мере его применимость следует проверить. Различие связано как со значительно большим многообразием размеров точечных теплотехнических элементов, так и с особенностями теплопереноса через точечные элементы.

Действительно, к точечным теплозащитным элементам относятся как тонкие металлические детали, прорезающие утеплитель (арматура, шпильки и т. п.), с площадью сечения от 1 мм², так и крупные конструктивные элементы (шпонки, колонны, пересекающие утеплитель, и т. п.) с площадью сечения в сотни тысяч мм². Такое многообразие размеров может привести к влиянию масштаба изучаемого объекта на результат и требует дополнительного исследования.

Проведем анализ взаимовлияния точечных теплозащитных элементов с помощью удвоения теплопроводного включения. Этот метод имеет низкую точность, но позволяет быстро выделить из общей массы группу теплопроводных включений, для которой взаимовлияние можно не учитывать. Оставшуюся группу нужно исследовать более тонкими методами, но в данной работе этого не требуется. Для анализа будут использованы два типовых размера точечных теплозащитных элементов: площадью сечения 79 мм² (арматура диаметром 10 мм) и площадью сечения 40 тыс. мм² (шпонка сечением 200×200 мм).

Кратко опишем метод удвоения теплопроводного включения.

Рассчитывается серия температурных полей для узлов конструкции, отличающихся только теплопроводностью включения (все размеры и однородная часть конструкции остаются неизменными). Причем для каждого следующего элемента серии превышение теплопроводности включения над теплопроводностью утеплителя удваивается. По по-

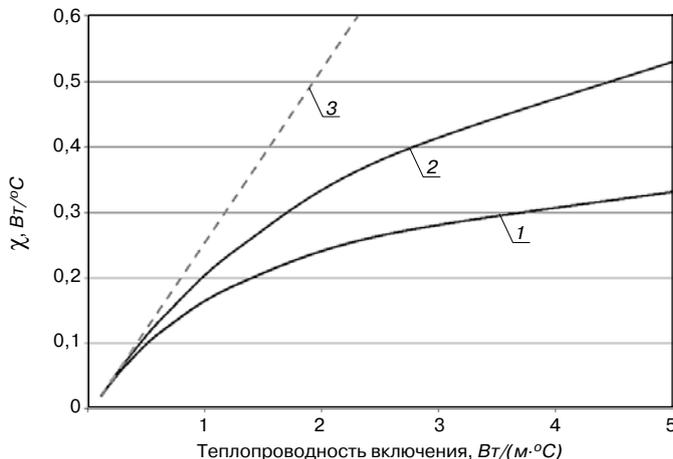


Рис. 2. Зависимость удельных потерь теплоты от теплопроводности включения большого сечения: 1 — результат прямого расчета температурного поля; 2 — результат, полученный удвоением удельных тепловых потерь при удвоении «добавочной» теплопроводности включения; 3 — случай «абсолютно независимых (идеальных) теплозащитных элементов» — линейная зависимость

лученным данным строится график, на который наносятся значения χ в зависимости от λ теплопроводного включения, далее $\chi_1(\lambda)$. Для удобства анализа на том же графике строится вспомогательная линия, точки которой получены с помощью преобразования:

$$\chi_2(2\lambda - 0,039) = 2\chi_1(\lambda), \quad (1)$$

где 0,039 Вт/(м·°С) — теплопроводность утеплителя для исследуемой конструкции.

Две построенные линии показывают, насколько отличаются реальные удельные потери теплоты от удельных потерь теплоты для условно независимых теплозащитных элементов, т. е. таких, изменение удельных потерь теплоты которых прямо пропорционально теплопроводности включения.

На рис. 1 показан график, построенный по алгоритму описанному выше для точечного теплопроводного включения площадью сечения 79 мм². Зависимость удельных потерь теплоты от теплопроводности перемычки $\chi_1(\lambda)$ — линия 1; $\chi_2(\lambda)$ — линия 2.

Аналогичный график для точечного теплопроводного включения площадью сечения 40 тыс. мм² показан на рис. 2.

Расхождение между линиями 1 и 2 показывает величину взаимовлияния при совмещении двух теплопроводных включений в одной точке. Из приведенного графика видно, что взаимовлияние постепенно нарастает с увеличением «мощности» теплопроводного включения. Но этот рост происходит значительно медленнее, чем для линейных неоднородностей. Для теплопроводного включения малого сечения (рис. 1) удельные потери теплоты невелики и теплозащитные элементы, соответствующие такому теплопроводному включению, можно считать полностью независимыми. Для теплопроводного включения большого сечения (рис. 2) удельные потери теплоты на два порядка больше и теплозащитные элементы, соответствующие такому теплопроводному включению, можно считать полностью независимыми только при значительном удалении друг от друга. При близком расположении требуется дополнительное исследование.

Например, для железобетонных панелей со шпонками расстояние между теплопроводными включениями будет достаточно велико, чтобы считать их независимыми.

В то же время для участка перфорации плиты перекрытия, где промежутки между перфорированными участками можно также представить как отдельные теплопроводные включения типа шпонок, требуется дополнительное исследование. На рис. 2 этому случаю соответствует конечный участок представленных линий. Очевидно, что при наложении теплопроводных включений данного вида они не могут рассматриваться как независимые и их взаимовлияние должно учитываться. При большом шаге перфорации, как для большинства правильно спроектированных узлов сопряжения плиты перекрытия со стеной, включения почти независимы. А при малом шаге перфорации, как в узлах выхода балконных плит и лоджий, взаимовлияние присутствует и потери теплоты через узел требуют дополнительных расчетов для своего нахождения.

Выводы. На примерах типичных теплопроводных включений показаны пределы взаимозависимости точечных теплозащитных элементов. Результаты расчетов совпадают с выводами статьи [1]. Таким образом, показано, что для подавляющего числа актуальных для современного строительства узлов при расчете приведенного сопротивления теплопередаче можно пренебречь взаимовлиянием как линейных, так и точечных неоднородностей. Часто расположенные неоднородности имеют малые удельные потери теплоты и не подвержены взаимовлиянию. Неоднородности с большими удельными потерями теплоты расположены редко и их влияние практически никогда не дотягивается до соседей. Редкие исключения можно учесть, рассматривая набор точечных включений как единую неоднородность линейного или точечного вида.

Полученные результаты дают богатую пищу для размышлений о роли конструкции и неоднородности в процессе теплопереноса. Правильное разделение этих ролей и проработка соответствующей методики позволят значительно упростить расчет приведенного сопротивления теплопередаче за счет сокращения потребных для расчета данных по конкретным узлам конструкции. Дальнейшее развитие этой темы сделано в статье «Приближенное решение уравнения теплопроводности для линейного и точечного теплопроводного включения» в журнале «Строительство и реконструкция» № 4, 2015, где для модельного узла получены аналитические решения, детально показывающие взаимосвязь удельных потерь теплоты и различных параметров конструкции.

Список литературы

1. Козлов В.В. Взаимовлияние теплотехнических неоднородностей при расчете приведенного сопротивления теплопередаче. *Сб. докладов «Строительная физика. Системы обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях». Международная конференция – академические чтения.* МГСУ. 2–4 июля 2014. С. 26–37.
2. Козлов В.В. Исследование теплотехнических свойств теплоизоляционного фасада с тонким штукатурным слоем в зоне расположения дюбеля // *Academia. Архитектура и строительство.* 2009. № 5. С. 346–355.
3. Самарин О.Д. Расчет удельных теплотерь через точечные теплотехнические неоднородности при использовании актуализированной редакции СНиП 23-02 // *Известия высших учебных заведений. Строительство.* 2014. № 1 (661). С. 81–85.
4. Крайнов Д.В., Садыков Р.А. Определение дополнительных потоков теплоты через элементы фрагмента ограждающей конструкции // *Жилищное строительство.* 2012. № 6. С. 10–12.
5. Roulet C.-A., Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments. Second ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, 2010.
6. Branco F., Tadeu A., Simoes N. Heat conduction across double brick walls via BEM // *Building and Environment.* 2004. Vol. 39. Is. 1, pp. 51–58.
7. Ghazi Wakili K., Simmler H., Frank T. Experimental and numerical thermal analysis of a balcony board with integrated glass fiber reinforced polymer GFRP elements // *Energy and Buildings.* 2007. Vol. 39. Is. 1, pp. 76–81.
8. Evola G., Margani G., Marletta L. Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate // *Energy and Buildings.* 2011. Vol. 43. Is. 9, pp. 2385–2393.
9. Keller T., Riebel F., Zhou A. Multifunctional hybrid GFRP/steel joint for concrete slab structures // *Journal of Composites for Construction.* 2006. Vol. 10. No. 6, pp. 550–560.
10. Goulouti K., Castro J., Vassilopoulos A.P., Keller T. Thermal performance evaluation of fiber-reinforced polymer thermal breaks for balcony connections // *Energy and Buildings.* 2014. Vol. 70, pp. 365–371.

References

1. Kozlov V.V. Interference thermal bridges in calculation of total resistance to a heat transfer. Proceedings of the «Building Physics. Systems of microclimate and energy efficiency in buildings» International Conference – Academic Reading. MGSU. 2–4 July 2014, pp. 26–37. (In Russian).
2. Kozlov V.V. Research thermal specifications of plaster facade in area plug location. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo.* 2009. No. 5, pp. 346–355. (In Russian).
3. Samarin O.D. Calculation of specific heat losses through point thermal non-uniformities using actualized edition of SNIP 23-02. *Izvestiya visshih uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo.* 2014. No. 1 (661), pp. 81–85. (In Russian).
4. Krajnov D.V., Sadykov R.A. Detection of additional heat flows through the elements of the fragment of enclosing structure. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 6, pp. 10–12. (In Russian).
5. Roulet C.-A., Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments. Second ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, 2010.
6. Branco F., Tadeu A., Simoes N. Heat conduction across double brick walls via BEM. *Building and Environment.* 2004. Vol. 39. Is. 1, pp. 51–58.
7. Ghazi Wakili K., Simmler H., Frank T. Experimental and numerical thermal analysis of a balcony board with integrated glass fiber reinforced polymer GFRP elements. *Energy and Buildings.* 2007. Vol. 39. Is. 1, pp. 76–81.
8. Evola G., Margani G., Marletta L. Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate. *Energy and Buildings.* 2011. Vol. 43. Is. 9, pp. 2385–2393.
9. Keller T., Riebel F., Zhou A. Multifunctional hybrid GFRP/steel joint for concrete slab structures. *Journal of Composites for Construction.* 2006. Vol. 10. No. 6, pp. 550–560.
10. Goulouti K., Castro J., Vassilopoulos A.P., Keller T. Thermal performance evaluation of fiber-reinforced polymer thermal breaks for balcony connections. *Energy and Buildings.* 2014. Vol. 70, pp. 365–371.

УДК 697.24:697.9

М.В. БОДРОВ, д-р техн. наук (tes84@inbox.ru), В.Ю. КУЗИН, инженер, М.С. МОРОЗОВ, инженер
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65)

Повышение энергетической эффективности систем обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов*

Рассмотрен вопрос выбора конкретных энергосберегающих мероприятий, имеющих наибольший эффективный потенциал при проектировании пассивных (тепловой контур) и активных (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха) систем обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов малой этажности. Приведены рекомендации по снижению энергопотребления многоквартирных жилых домов малой этажности за счет оптимизации технологических решений на стадии их проектирования. Определен потенциал экономии энергетических ресурсов при внедрении типовых энергосберегающих мероприятий для эталонного энергетически неэффективного многоквартирного жилого дома на примере одно-, двух- и трех-секционных 5-этажных многоквартирных жилых домов. Сделан общий вывод о невозможности реализации оптимальных экономически целесообразных инженерных решений в условиях индивидуального проектирования каждого объекта жилищного строительства и о возрождении типового проектирования многоквартирных жилых домов как необходимого условия повышения энергетической эффективности многоквартирных жилых домов малой этажности в целом и каждого его объекта в частности.

Ключевые слова: энергосбережение, микроклимат, отопление, вентиляция, воздухообмен, многоквартирные жилые дома малой этажности.

M.V. BODROV, Doctor of Sciences (Engineering), V.Yu. KUZIN, Engineer, M.S. MOROZOV, Engineer
Nizhni Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilyinskaya Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation)

Improving the Energy Efficiency of Assurance System of Microclimate Parameters in Blocks of Flats*

The issue of selecting specific energy saving measures, which possess the most efficient potential when designing passive (heat contour) and active (heating, ventilation and air conditioning) systems assuring the microclimate parameters in low-rise multifamily residential houses, is considered. Recommendations on reducing the power consumption in low-rise multi-flat residential houses due to the optimization of technological decisions at the stage of their designing are presented. The potential of energy resources economy in the course of introducing standard energy saving measures on the example of one-, two-, and three-section five-storey blocks of flats has been determined. The general conclusion on impossibility to realize optimal economically feasible engineering solutions under conditions of individual design of each object of housing construction and revival of standard design of blocks of flats as a necessary condition for improving the energy efficiency of low-rise blocks of flats in general, and each its object in particular is made.

Keywords: energy saving, microclimate, heating, ventilation, air exchange, low-rise blocks of flats.

Современная нормативная база предъявляет повышенные требования к энергетической эффективности пассивных (тепловой контур) и активных (системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) систем обеспечения параметров микроклимата (СОМ) многоквартирных жилых домов (МЖД), а также жестко регламентирует поддерживаемые ими санитарно-гигиенические параметры жилых помещений. Вопросы нормирования параметров микроклимата достаточно широко изучены и рассмотрены в современных научных публикациях [1–5].

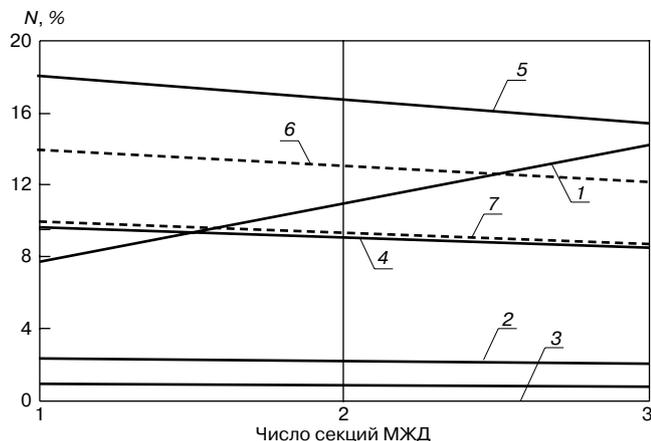
Применяемые мероприятия по повышению энергетической эффективности СОМ МЖД, например повышение приведенного сопротивления теплопередаче путем утепления наружных ограждений, утилизация теплоты вытяжного

воздуха и др., имеют различные сроки окупаемости и капитальные затраты на их реализацию.

Отмечается, что МЖД с одинаковой этажностью, размерами в плане и полезной площадью значительно отличаются потреблением энергоресурсов на нужды отопления и вентиляции ввиду возможных отличий в сочетаниях компоновок отдельных помещений, а также технических решений в технологии кухонь и устройства санузлов, что особенно характерно для МЖД малой этажности (2–5 этажей), где находят широкое применение поквартирное отопление с индивидуальными котлами и газовой плитой. В таблице приведены результаты расчетов увеличения необходимого количества теплоты на нагрев вентиляционного воздуха $Q_{тр}$, Вт, по сравнению с минимально возможной вентиляционной нагрузкой Q_{min} , Вт, при различных сочетаниях ку-

* Статья подготовлена в рамках выполнения НИР «Разработка и научное обоснование теплофизических закономерностей переноса теплоты и влаги в неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданиях» (код проекта 3008) с финансированием из средств Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания на научные исследования.

* The article was prepared within the framework of NIR «Development and scientific justification for thermo-physical regularities of heat and moisture transfer in unheated production agricultural buildings» (project code 3008) with funding from the Ministry of education and science of the Russian Federation, in frames of the basic part of the state task for research.



Показатель N , %, при введении энергосберегающих мероприятий в 5-этажном МЖД относительно неутепленного (эталонного) здания: 1, 2, 3 – утепление наружных стен, покрытия кровли, покрытия пола согласно СНиП 23-02–2003 (по ГСОП) соответственно; 4 – установка окон с улучшенными теплозащитными свойствами согласно СНиП 23-02–2003 (по ГСОП); 5 – теплоутилизация вытяжного воздуха рекуперативными системами вентиляции с промежуточным теплоносителем; 6 – установка четырехслойного остекления в ПВХ переплетах; 7 – оптимизация воздухообмена за счет отказа от газовых плит и устройства совмещенного санузла

хонного оборудования, компоновки санузлов и жилых комнат для следующих исходных данных: месторасположение МЖД – Нижний Новгород; высота потолка жилых помещений $h = 2,7$ м; расчетный воздухообмен $L_{тр}$, м³/ч, квартиры общей площадью $F_{кв} = 51$ м² принят в соответствии с требованиями СП 54.13330.2011.

Анализ таблицы показывает, что на стадии проектирования при выполнении действующих нормативных требований путем грамотного рационального подхода к компоновке помещений МЖД и выбора основных технологических решений возможно достижение снижения вентиляционной нагрузки в тепловом балансе МЖД практически в два раза. Отказ от газификации МЖД малой этажности позволяет снизить капитальные затраты на наружные и внутренние сети газоснабжения до нуля, а также уменьшить металлоемкость внутренних сетей отопления и индивидуальных тепловых пунктов.

Предлагаемый принципиальный подход к энергосбережению в МЖД малой этажности основан на реалиях современной рыночной экономики РФ, в условиях которой застройщикам невыгодно внедрять энергосберегающие ме-

роприятия, повышающие себестоимость квадратного метра жилья, так как срок окупаемости внедрения энергосберегающих мероприятий в момент продажи квартиры в новом МЖД является слабым стимулирующим фактором.

Выбор энергосберегающего мероприятия должен производиться на основе первоначальной цели энергосбережения – выход на нулевое энергопотребление (автономность) или энергосбережение с целью снижения капитальной стоимости (рациональность). По мнению авторов, только рациональный подход к энергосбережению жизнеспособен в современных условиях, так как исполнение нормативно закрепленных, экономически необоснованных повышенных требований к энергетической эффективности жилых зданий ложится на бюджеты собственников, доля коммунальных платежей в которых повысилась с 1985-го по 2015 г. с 2,7% до 10,9% [6–8].

Оценку потенциала энергосбережения различных частных энергосберегающих мероприятий СОМ МЖД удобно производить при сравнении с их эталонным сочетанием, которое является наименее энергоэффективным, но способным поддерживать допустимые параметры микроклимата с нормируемой для данных систем обеспеченностью. В качестве эталонного сочетания были приняты следующие системы: пассивные СОМ – наружные ограждения (тепловой контур), рассчитанные на минимальное сопротивление теплопередаче $R_{оп}^{np}$, м²·°С/Вт, с точки зрения соблюдения санитарно-гигиенических требований, а именно разности Δt^H , °С, между температурой внутреннего воздуха $t_{в}$, °С, и внутренней поверхности наружного ограждения $t_{вн}$, °С; активные СОМ – система естественной приточно-вытяжной вентиляции без утилизации теплоты уходящего воздуха, система отопления без регулирующих теплоотдачу нагревательных приборов термостатических радиаторных клапанов.

Авторами предложен показатель, характеризующий действительную экономию энергетических ресурсов: процент снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристики здания:

$$N = \frac{k_i^0 - k_i^1}{k_{вент}^0 + k_{ог}^1} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где k_i^0 – удельная теплозащитная характеристика (или удельная вентиляционная характеристика) элемента ограждающей конструкции эталонного сочетания СОМ МЖД, Вт/(м²·°С); k_i^1 – удельная теплозащитная характеристика элемента

Варианты сочетаний	$L_{тр}$, м ³ /ч	$Q_{мин}$, Вт	$Q_{тр}$, Вт	$Q_{тр}/Q_{ст}$
Оборудование кухни площадью $F_{кух} = 17$ м ²				
Электроплита	60	1137		1
Газовая плита	100		1895	1,67
Теплогенератор и газовая плита	140,5		2663	2,35
Компоновка санузла				
Совмещенный санузел	25	474		1
Ванная комната и туалет	50		948	2
Компоновка жилых помещений				
Две жилые комнаты (заселенность – 1 человек на 1 комнату) площадью $F_{ком} = 21$ м ² каждая, кухня с электроплитой, $F_{кух} = 15$ м ²	120	2274		1
Две жилые комнаты (заселенность – 1 человек на 1 комнату) площадью $F_{ком} = 20$ м ² каждая, кухня с электроплитой, $F_{кух} = 17$ м ²	180		3411	1,5

ограждающей конструкции (или удельная вентиляционная характеристика) после введения конкретного энергосберегающего мероприятия, Вт/(м³·°C); $k_{об}^1$ – удельная теплозащитная характеристика здания в целом [1, 2] при эталонном сочетании СОМ МЖД, Вт/(м³·°C); $k_{вент}^0$ – удельная вентиляционная характеристика здания в целом [1, 2] при эталонном сочетании СОМ МЖД, Вт/(м³·°C).

Результаты расчета показателя N , %, для одно-, двух- и трех-секционных 5-этажных МЖД на предмет применения основных типовых энергосберегающих мероприятий, принципиально влияющих на тепловой баланс помещений МЖД, приведены на рисунке, анализ которого показывает, что максимальный потенциал энергосбережения достигается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха [9].

Утепление наружных стен в МЖД малой этажности не является мероприятием с наивысшим энергосберегающим потенциалом и при обосновании может быть заменено на установку заполненных оконных проемов со значениями приведенного сопротивления теплопередачи, близкими к $R_o^{пр} = 0,8$ м²·°C/Вт. Утепление покрытия пола и кровли до значений, нормируемых СНиП 23-02–2003 по ГСОП, дает

экономию меньшую, чем мероприятия по оптимизации воздухообмена за счет отказа от газификации МЖД и устройства совмещенных санузлов.

В заключение отметим, что в современных реалиях рыночной экономики при разнообразии различных строительных материалов, широком диапазоне природно-климатических условий РФ, различной себестоимости энергетических ресурсов в регионах страны, большом количестве нормативных (обязательных к применению) частных некомплексных требований к энергосбережению, отсутствию научнообоснованных апробированных практикой строительства и эксплуатации единых методических рекомендаций, делают труднореализуемым решение задачи по созданию действительно энергетически эффективных МЖД. Оптимальным, по мнению авторов, является возвращение к типовому проектированию СОМ на объектах жилищного муниципального строительства МЖД малой этажности (особенно с привлечением бюджетных средств), способное снизить издержки на проектные работы и повысить общую культуру проведения строительномонтажных работ.

Список литературы

1. Гагарин В.Г., Козлов В.О. О комплексном показателе тепловой защиты оболочки здания // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2010. № 4. С. 52–61.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.О. Нормирование теплозащиты и расхода энергии на отопление и вентиляцию в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // *Вестник Центрального регионального отделения РААСН*. Тамбов – Воронеж. Вып. 11. 2012. С. 279–286.
3. Гагарин В.Г., Козлов В.О. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // *Жилищное строительство*. 2011. № 8. С. 2–6.
4. Фангер П.-О. Качество внутреннего воздуха в зданиях, построенных в холодном климате, и его влияние на здоровье, обучение и производительность труда людей // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2006. № 2. С. 12–19.
5. Табунщиков Ю.А., Малявина Е.Г., Дионов С.Н., Механическая вентиляция – путь к комфорту и энергосбережению // *Энергосбережение*. 2000. № 3. С. 5–9.
6. Россия-2014: Стат. справочник / Р76 Росстат. М.: 2014. 62 с.
7. Сборник статистических материалов 1985 г. / Финансы и статистика. М., 1986. 286 с.
8. Народное хозяйство СССР. Стат. ежегодник / Финансы и статистика. М., 1986. 655 с.
9. Кузин В.Ю. Теплофизическое обоснование применения энергосберегающих систем механической вентиляции для обеспечения нормируемого воздухообмена жилых помещений // *Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: Сб. докладов V Межд. научно-техн. конференции*. М.: МГСУ, 2013. С. 175–180.

References

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. About the complex index of thermal protection of the building envelope. *AVOK: Ventiljacija, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naja teplofizika*. 2010. No. 4, pp. 52–61. (In Russian).
2. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Normalization of thermal insulation and energy consumption for heating and ventilation in the draft version of the updated SNiP «Thermal Protection of Buildings». *Vestnik Central'nogo regional'nogo otdelenija RAASN*. Tambov–Voronezh. 2012. No. 11, pp. 279–286. (In Russian).
3. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Requirements for Thermal Protection and Energy Efficiency in the Draft of the Updated SNiP «Thermal Protection of Buildings». *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 8, pp. 2–6. (In Russian).
4. Fanger P.-O. Indoor air quality in buildings constructed in cold climates, and its impact on health, education and productivity of people. *AVOK: Ventiljacija, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naja teplofizika*. 2006. No. 2, pp. 12–19. (In Russian).
5. Tabunschikov Y.A., Malyavina E.G., Dionov S.N. Mechanical ventilation – a way to comfort and energy saving. *Energoberezhenie*. 2000. No. 3, pp. 5–9. (In Russian).
6. Rossiya-2014: Stat. Spravochnik [Rossiya-2014: Stat. Directory]. Moscow: Rosstat. 2014. 62 p.
7. Sbornik statisticheskikh materialov 1985 g. [The collection of statistical 1985]. Moscow: Finansy i statistika. 1986. 286 p.
8. Narodnoe hozjajstvo SSSR. Stat. ezhegodnik [The national economy of the USSR. Stat. Yearbook]. Moscow: Finansy i statistika. 1986. 655 p.
9. Kuzin V.Y. Thermophysical rationale for the use of energy-efficient mechanical ventilation systems to ensure the rated air dwellings. *Theoretical foundations of heat and ventilation: a collection of V International scientific and technical conference*. MGSU. 2013, pp. 175–180. (In Russian).

УДК 535.233:53.088.23

Е.В. ЛЕВИН, канд. физ.-мат. наук (aqwsrv@list.ru),
А.Ю. ОКУНЕВ, канд. физ.-мат. наук (aou@pochta.ru)

Научно-исследовательский институт строительной физики РААЧН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21)

Инфракрасное термографирование объектов в условиях тумана. Выбор дистанции измерения

Приведены результаты теоретического и численного исследования поглощения и пропускания инфракрасного излучения в условиях туманов. Исследования выполнены для рабочих диапазонов длины волны 3–5 и 8–14 мкм, используемых при инфракрасном термографировании и пирометрическом измерении температуры. Показаны различия между величинами коэффициентов пропускания в рассмотренных диапазонах длины волны. По результатам исследований приведены зависимости, показывающие связь между коэффициентом пропускания, дистанцией измерения и метеорологической дальностью видимости. Приведены примеры, показывающие методику определения допустимой дистанции измерений, а также характерные допустимые дистанции измерения. Представлены данные, позволяющие за пределами допустимой дистанции измерения определять величину коэффициента пропускания, которая в свою очередь может быть использована при обработке термограмм для повышения точности инфракрасного термографирования.

Ключевые слова: инфракрасное термографирование, коэффициент пропускания, длина волны, спектральный диапазон, энергосбережение.

E.V. LEVIN, Candidate of Sciences(Physics and Mathematics), (aqwsrv@list.ru),
A.Yu.OKUNEV, Candidate of Sciences(Physics and Mathematics) (aou@pochta.ru)
Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Infrared Thermography of Objects in Fog. Selection of Measuring Distance

Results of the theoretical and numerical study of absorption and transmittance of the infrared radiation in fog are presented. The study is conducted for working ranges of wave length of 3-5 mcm and 8-14 mcm used in the course of the infrared thermography and pyrometric measurement of temperature. Differences between the values of transmission factors within wave length ranges considered are shown. On the basis of study results, dependences, which show the link between the transmission factor, measuring distance and meteorological visual range, are given. Examples showing the methods for determining the permissible distance of measurement as well as characteristic permissible distances of measurement are presented. Data making it possible to determine, outside the limits of permissible distance of measurement, the value of the transmission factor, which, in its turn, can be used in the course of the thermograms processing for improving the accuracy of infrared thermography, are presented.

Keywords: infrared thermography, transmission factor, wave length, spectral range, energy saving.

Одним из широко распространенных на практике методов бесконтактного и неразрушающего контроля являются термографические инфракрасные (ИК) обследования объектов и измерения температуры их поверхности. Тепловизионные термографические обследования позволяют визуализировать температурные поля на сравнительно больших участках поверхности и определить аномальные температурные зоны и элементы, которые могут оказаться следствием скрытых дефектов, переувлажнения, наличия скрытых тепловых источников, мостиков холода и т. д. Пирометрические измерения позволяют определить температуру в труднодоступных местах и в условиях, когда контактные измерения просто невозможны (удаленные, движущиеся, в том числе вращающиеся, объекты и детали, высокотемпературные зоны при металлургическом производстве и др.).

В климатических условиях РФ основной расход вырабатываемой тепловой энергии идет на отопление зданий и сооружений. Вопросы, связанные с энергетической эффективностью строительных объектов и использованием теплосберегающих технологий, являются одними из основных в экономике страны и регулируются специально раз-

работанным Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. По этой причине весьма важным является выполнение мероприятий, связанных с диагностикой и обследованием различного рода строительных объектов (здания, сооружения, промышленные конструкции, объекты жилищного строительства). При решении этих задач ИК-термографирование (далее – ИК-метод) и бесконтактное измерение температуры, в силу своей универсальности и удобства реализации, стали одним из основных методов диагностики. Кроме визуализации аномальных температурных зон ИК-метод позволяет получить исходные данные для оценки и расчета теплотерь через оболочку строительного объекта и обобщенных теплотехнических характеристик объектов, таких как термическое сопротивление, локальное и приведенное сопротивление теплопередаче.

Несмотря на все свои очевидные преимущества, ИК-метод обладает одним существенным недостатком – в отдельных случаях при его использовании точность определения температурных полей и точность измерения темпера-

туры могут оказаться недостаточно высокими [1]. При этом метод позволяет получить качественную картину и определить зоны температурных неоднородностей, но теплопотери, термическое сопротивление и сопротивление теплопередаче, вычисленные с использованием измеренных температур, могут значительно отличаться от истинных с погрешностью до 100% и более [2].

При использовании ИК-метода всегда приходится задавать ряд внешних параметров, таких как коэффициент излучения обследуемой поверхности, температуру отраженного излучения сторонних объектов, коэффициент поглощения излучения воздухом, находящимся между измерительным прибором и объектом. Недостаточная точность их задания, а также сами величины этих параметров, величина температуры обследуемого объекта и окружающего воздуха и являются основными факторами, определяющими возможную резкую потерю точности ИК-метода. Во многих работах, например [3, 4], отмечалось, что неточность задания коэффициента излучения, а также присутствие и сама величина температуры отраженного излучения могут привести к значительным ошибкам при измерении температуры, от нескольких до десятков градусов и более. В [5, 6] показано, что на величину этих ошибок существенно влияет также и температура самого обследуемого объекта, а если более правильно, то соотношение между этой температурой и температурой отраженного излучения и воздуха. В настоящее время существует ряд достаточно простых практических приемов, позволяющих компенсировать отрицательное влияние погрешностей задания величин коэффициента излучения и температуры отраженного излучения на точность измерений [7], а также прием, основанный на температурном сдвиге при обработке результатов измерений.

Гораздо сложнее может обстоять дело с погрешностью задания величины коэффициента пропускания воздуха, которая, как и перечисленные выше параметры, при определенных условиях может оказать существенное влияние на точность измерения температуры [5, 6]. Для чистого, незамутненного посторонними примесями воздуха в рабочих спектральных диапазонах, используемых в ИК-термографии (окна прозрачности атмосферы), коэффициент пропускания достаточно велик. Например, на дистанциях до 30 м, независимо от температуры воздуха и его относительной влажности, выполняется условие $\tau \approx 1$ [3] и термографирование может быть выполнено практически без потери точности измерений. Современные ИК-приборы, как правило, позволяют компенсировать неточности измерений на гораздо больших дистанциях. Для этого в них предусмотрен дополнительный ввод параметров в виде дистанции наблюдения, температуры воздуха и его относительной влажности, по величинам которых проводится расчет коэффициента пропускания и соответствующая автоматическая корректировка результатов измерений.

Если же воздух оказывается замутненным взвешенными частицами, то за счет рассеяния излучения может иметь место резкое снижение коэффициента пропускания. Поскольку характер замутнения (размеры взвешенных частиц, их концентрация и физическая природа) в большинстве случаев трудноопределим, оценить даже приблизительную величину коэффициента пропускания в рабочем ИК-диапазоне на практике часто не представляется возможным. В силу

этих обстоятельств существующие нормативные документы просто не регламентируют проведение термографических измерений в присутствии атмосферных осадков, тумана и задымленности. Единственным документом, допускающим применение ИК-термографирования в условиях замутненной атмосферы, является ГОСТ Р 54852–2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций», в котором только в случае необходимости и только при тепловизионном осмотре или при обзорном термографировании допускается проведение работ в условиях дымки или дождя. Для дымки с частицами радиусом 1,5 мкм приведены оценочные рекомендации по выбору максимальной дистанции наблюдения в зависимости от метеорологической дальности видимости (МДВ), которая должна составлять 1 км и более. Оценки получены на основе результатов монографии [5], приведенных там для иллюстративного и скорее качественного описания процессов рассеяния излучения в замутненных атмосферах. Здесь и далее под МДВ подразумевается дистанция, на которой, по общепринятому определению, еще существует контраст яркости излучения между деталями на поверхности объекта на уровне 2%. Если перейти к коэффициенту пропускания атмосферы, то МДВ соответствует условию для видимой глазом человека длины волны излучения 0,38–0,78 мкм, когда коэффициент пропускания составляет $\tau=0,02$.

С другой стороны, если бы величина коэффициента пропускания замутненного воздуха τ была каким-либо образом измерена или вычислена, то она могла бы быть использована при дополнительной математической обработке термографических результатов с целью уточнения измеряемой температуры.

Целью настоящей работы является представление результатов, полученных при анализе пропускания ИК-излучения в замутненной атмосфере, содержащей туманы, как часто встречающиеся в практике ИК-термографирования источники снижения коэффициента пропускания. Рассмотрены механизм рассеяния и поглощения излучения, зависимость коэффициента пропускания от дистанции наблюдения при различных величинах МДВ в ИК-диапазонах в видимом глазом спектральном диапазоне света, а также ряд практических рекомендаций по применению полученных результатов.

С точки зрения классификации замутнения воздуха часто используют понятие оптической погоды [8]. При термографических измерениях в качестве характеристики оптической погоды наиболее часто может встречаться дымка, туманная дымка и туман. Дымке и туманной дымке соответствует МДВ более 1 км, а их источниками могут быть твердые частицы различного происхождения с радиусом r менее 0,1 мкм (дымка) и частицы с радиусом 0,1–1 мкм (туманная дымка), которые покрыты тонким слоем воды за счет конденсации ее паров из атмосферы. В туманах МДВ составляет менее 1 км и они характеризуются каплями воды, наиболее вероятный радиус которых составляет 5–15 мкм при положительной температуре и 2–5 мкм – при отрицательной. Объемное содержание частиц существенно влияет на дальность видимости и, как правило, может составлять от нескольких десятков до нескольких сотен на кубический сантиметр. Главным для дальнейшего является то, что внешняя поверхность всех образующих частиц состоит из сравнительно «толстого» слоя воды, а капли тумана состо-

ят из нее полностью. Для определенности в качестве характерных размеров выберем следующие: $r=0,5$ и 1 мкм для дымок и $r=5$ и 10 мкм для туманов.

В качестве спектральных ИК-диапазонов будем рассматривать три диапазона: $\Delta\lambda_0 - 0,38-0,78$ мкм, соответствующий видимому свету, и диапазоны $\Delta\lambda_1 - 3-5$ мкм и $\Delta\lambda_2 - 8-14$ мкм как наиболее часто используемые в практике ИК-термографирования. Поскольку в качестве основного рассеивателя излучения далее будет рассматриваться туман, то считаем, что в атмосфере достигнуто равновесное состояние по водяному пару и относительная влажность близка к $H_k=100\%$. Температуру окружающего воздуха для определенности примем равной 0°C . При более высокой температуре ИК-термографирование строительных объектов теряет смысл по причине малого температурного напора между наружной и внутренней поверхностями объекта, а при более низкой – влагосодержание воздуха резко падает и эффект ослабления излучения за счет поглощения на водяном паре малозаметен (основными поглотителями излучения в чистом воздухе являются водяной пар и углекислый газ). Выбранный ранее характерный радиус $r=5$ мкм как раз соответствует температуре 0°C .

Поглощение и рассеяние ИК-излучения в замутненной атмосфере. Сам по себе чистый воздух является селективным поглотителем (в зависимости от длины волны) как видимого, так и ИК-излучения. Поглощение излучения парами воды и углекислым газом к настоящему времени хорошо изучено, а сами спектральные коэффициенты пропускания (коэффициенты пропускания для каждой длины волны λ) $\tau_{\lambda}^{H_2O}$ и $\tau_{\lambda}^{CO_2}$ достаточно подробно представлены в табличном виде в ряде работ [9, 10]. Наиболее полная графическая информация по спектральным коэффициентам пропускания паров воды и углекислого газа приведена в работе [5]. Данные представлены с учетом содержания углекислого газа $0,04\%$ (об.). Там же приведены зависимости интегрального коэффициента пропускания чистого воздуха в спектральных диапазонах $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$ от дистанции наблюдения. Одним из выводов, следующих из данных работы [5], является то, что чистая атмосфера, достаточно прозрачная в диапазоне видимого света $\Delta\lambda_0$ (МДВ достигает более 100 км), оказывается намного менее прозрачной в ИК-диапазонах. Например, на дистанции в 1 км интегральный коэффициент пропускания в диапазоне $\Delta\lambda_1$ может составлять величину около $0,64$, а в диапазоне $\Delta\lambda_2$ – около $0,88$. Другими словами, даже на такой сравнительно короткой дистанции потери ИК-излучения за счет поглощения чистым воздухом оказываются заметными и требования к точности задания коэффициента пропускания могут быть достаточно жесткими. По этой причине далее коэффициенты пропускания замутненной атмосферы будут рассматриваться совместно с поглощением излучения самой чистой атмосферой.

Спектральный коэффициент пропускания замутненной атмосферы, определяемый только за счет рассеяния излучения на взвешенных части-

цах, может быть записан с использованием закона Бугерта–Ламберта–Бэра в следующем виде:

$$\tau_{\lambda}^F = \exp[-\beta(\lambda)L], \quad (1)$$

где $\beta(\lambda) = \pi \cdot r^2 N \cdot \sigma(\lambda)$ – коэффициент рассеяния (м^{-1}); L – дистанция наблюдения (м); r – радиус частиц; N – число частиц на единицу объема (м^{-3}); коэффициент σ представляет собой относительное сечение рассеяния (показатель экстинкции).

Основной трудностью при определении величины (1) является расчет показателя экстинкции, который определяется характером взаимодействия излучения с веществом и зависит от геометрических характеристик частиц, длины волны падающего излучения и физических свойств вещества частицы.

В нашем исследовании была использована классическая модель рассеяния излучения, основанная на расчете дифракции плоской электромагнитной волны на однородной сферической частице (так называемая теория Ми [11]). Она позволяет рассчитать не только интересующее нас ослабление излучения в «прямом» направлении, но при необходимости также вычислить индикатрису рассеяния по углам (боковое рассеяние, обратное рассеяние и др.). Теория Ми показывает, что ослабление излучения на однородной сферической частице определяется всего двумя параметрами – отношением радиуса частицы к длине волны r/λ и величиной показателя преломления вещества частицы, который для воды составляет $n=1,33$. Расчеты показателя экстинкции были выполнены на основе алгоритма, приведенного в работе [12]. В расчетах принималось, что частицы тумана полностью состоят из воды, а для частиц дымки, с учетом того, что они покрыты сравнительно толстым относительно размера частицы слоем воды, эффективный показатель преломления также составлял $n=1,33$.

На рис. 1 приведены зависимости показателя экстинкции от длины волны излучения для частиц различного радиуса.

Из анализа характера кривых (рис. 1) можно сделать следующие выводы. Для частиц малого радиуса $0,5$ и 1 мкм (дымка) в инфракрасной области $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$ рассеяние из-

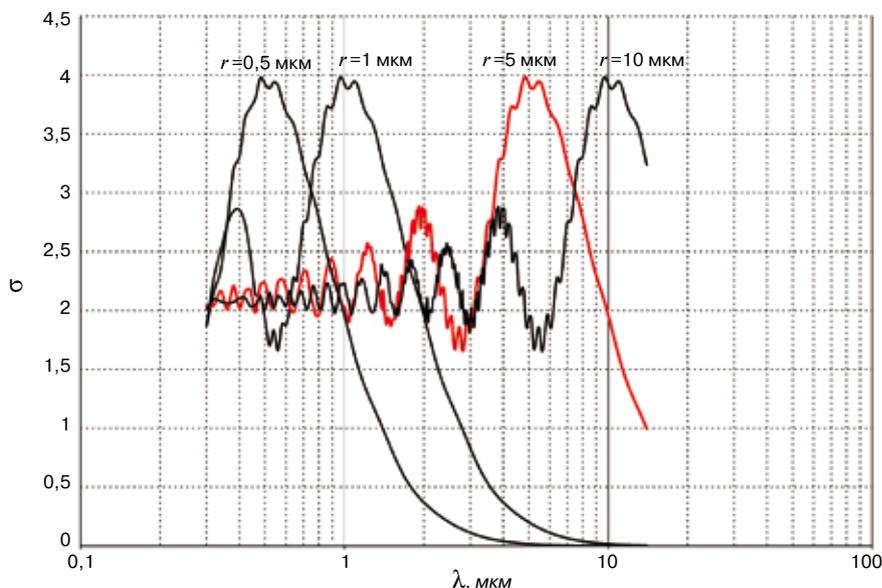


Рис. 1. Зависимость показателя экстинкции от длины волны излучения и радиуса частиц

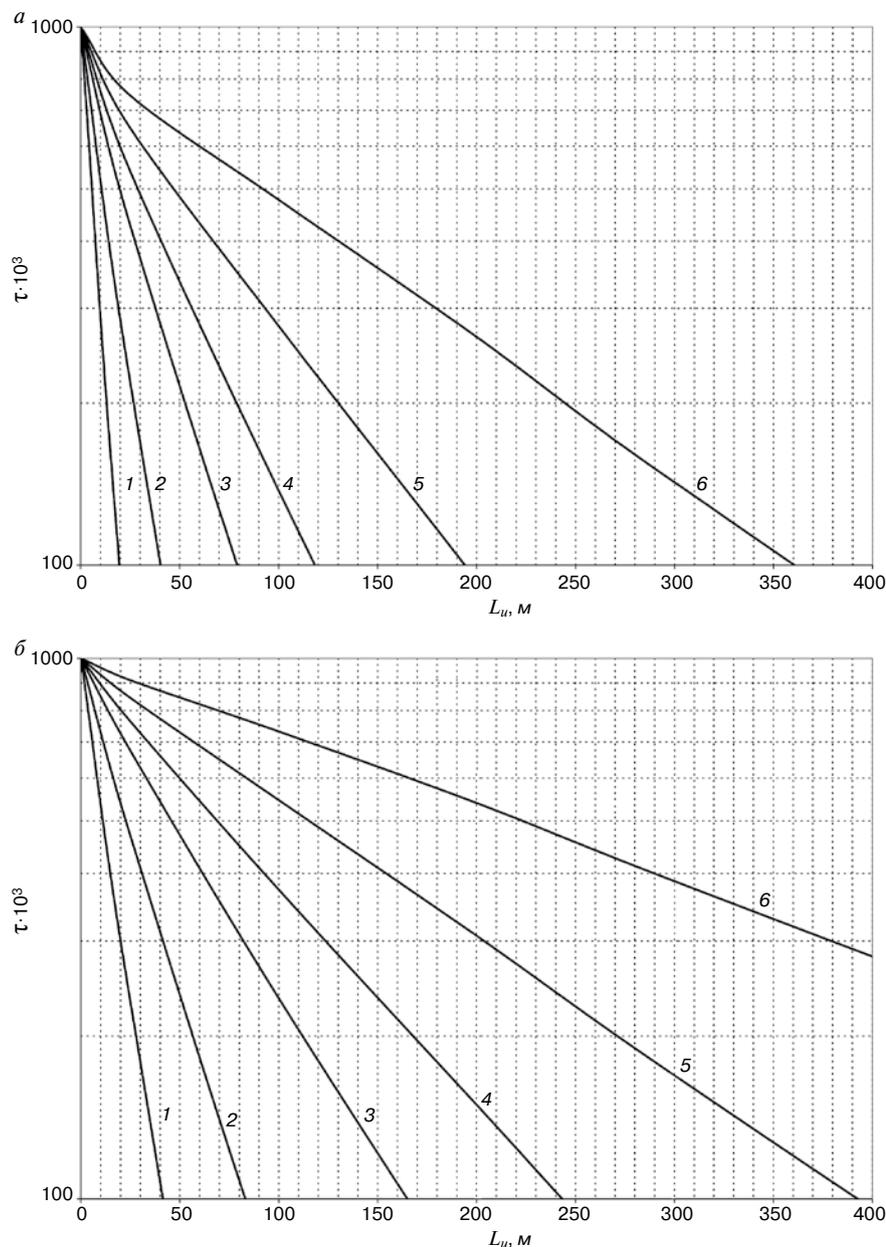


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания от дистанции измерения для тумана с каплями радиусом 5 мкм для различных $L_{МДВ}$: а – диапазон $\Delta\lambda_1$; б – диапазон $\Delta\lambda_2$

лучения практически отсутствует (показатель экстинкции близок к нулю), и это несмотря на то что в видимой области $\Delta\lambda_0$ должно наблюдаться замутнение воздуха. По этой причине частицы малого радиуса далее рассматриваться не будут, а внимание будет сосредоточено на частицах радиусом 5 и 10 мкм, соответствующих туманам. Частицы (водные капли в тумане) 5 мкм являются основным предметом исследования, поскольку их определили для выбранной температуры воздуха 0°C, а частицы 10 мкм будут рассмотрены для сравнения пропускания воздуха в туманах при положительной температуре. Другой важный вывод состоит в том, что для крупных частиц в видимом диапазоне $\Delta\lambda_0$ отсутствуют значительные изменения показателя экстинкции, т. е. рассеяние излучения примерно одинаково как для частиц радиуса 5 мкм, так и для радиуса 10 мкм. Третий вывод состоит в том, что для частиц радиуса 5 мкм пропуска-

ние излучения в диапазоне $\Delta\lambda_1$ в среднем должно быть меньше, чем в диапазоне $\Delta\lambda_2$, а для более крупных частиц с радиусом 10 мкм все наоборот.

Интегральные коэффициенты пропускания ИК-излучения в тумане. Прежде всего определимся с понятием интегрального коэффициента пропускания. Формула (1) и упомянутые ранее коэффициенты $\tau_\lambda^{H_2O}$ и $\tau_\lambda^{CO_2}$ являются спектральными величинами и сами по себе не характеризуют поглощение и пропускание излучения во всей ширине диапазонов длин волн $\Delta\lambda$, которое может быть зафиксировано глазом или ИК-прибором. Для этого должны быть использованы интегральные величины, которые для полного коэффициента пропускания с учетом поглощения излучения чистым воздухом и рассеяния на частицах имеют следующий вид:

$$\tau = \Delta\lambda^{-1} \int_{\Delta\lambda} \tau_\lambda^{H_2O}(\lambda) \tau_\lambda^{CO_2}(\lambda) \tau_\lambda^F(\lambda) d\lambda. \quad (2)$$

Для расчетов этих коэффициентов использованы табличные данные [9], а также вычисляемые величины показателя экстинкции (рис. 1). На первый взгляд постановка вычислительного эксперимента по исследованию интегральных коэффициентов излучения может быть затруднена в связи с тем, что коэффициент рассеяния, входящий в (1), является многопараметрической функцией и зависит как от размера частиц, так и от числа частиц на единицу объема N . Однако это затруднение легко устранимо, если в формуле для коэффициента рассеяния сделать следующее преобразование:

$$\beta = \frac{m}{r} \cdot \frac{3\sigma}{4\rho} \quad (3)$$

и иметь в виду, что радиус частиц r известен и составляет либо $r=5$, либо $r=10$ мкм. Здесь $m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho N$ – массовое содержание капель воды в единице объема воздуха; ρ – плотность воды. Далее, если обратиться к графикам рис. 1 для диапазона длины волны $\Delta\lambda_0$ (диапазон видимого света), то можно допустить, что интегральный коэффициент рассеяния (2) окажется примерно постоянной величиной τ_0 для заранее выбранной дистанции наблюдения L_0 как для частиц радиуса 5 мкм, так и для частиц 10 мкм. Если это так, то на основе закона Бугерта–Ламберта–Бэра нетрудно определить величину m/r , которую можно использовать для расчетов коэффициента пропускания и в интересующих нас диапазонах длины волны $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$. Серия вычислительных экспериментов подтвердила эту гипотезу. В качестве коэффициента пропускания была выбрана величина $\tau_0=0,02$, которая соответствует МДВ в видимом диапазоне $\Delta\lambda_0$. При этом выражение для вычисления m/r имеет следующий вид:

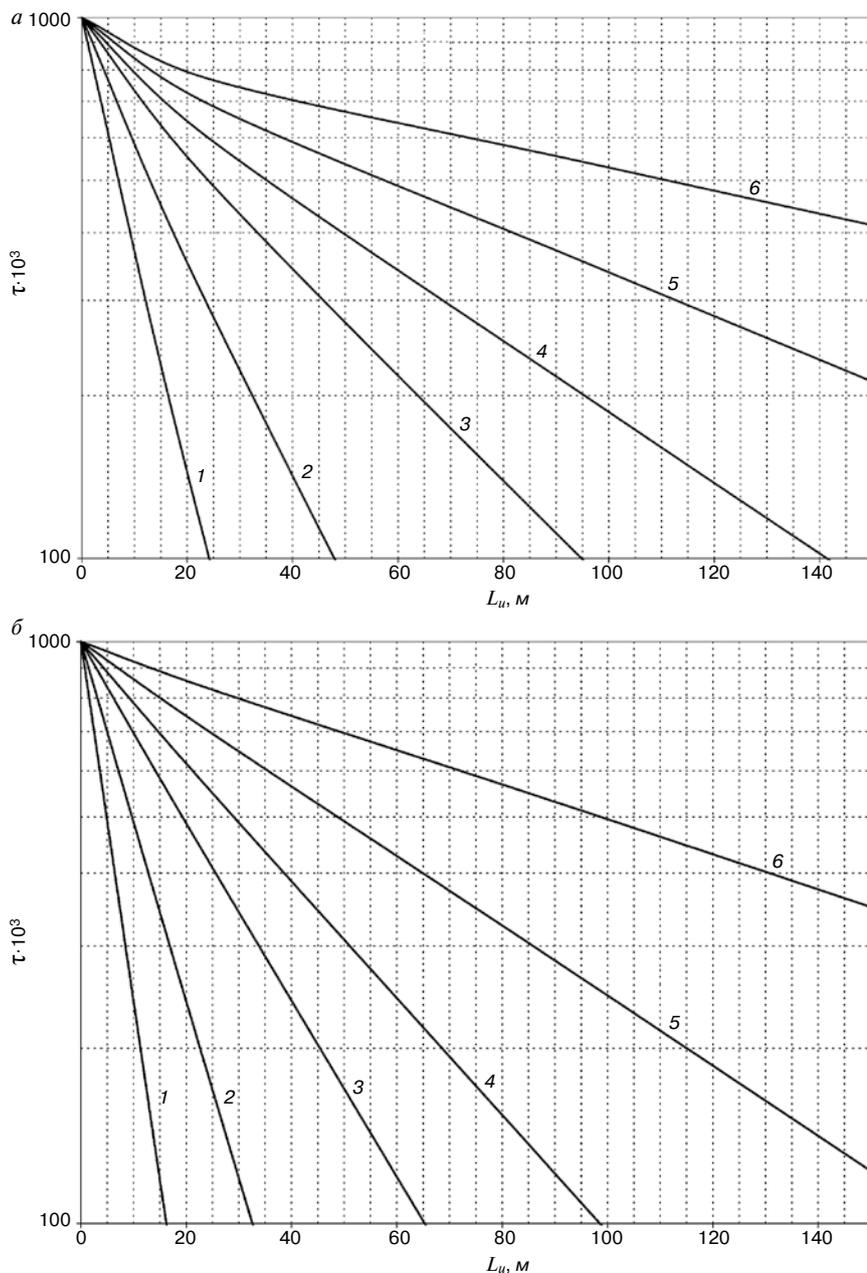


Рис. 3. Зависимость коэффициента пропускания от дистанции измерения для тумана с каплями радиусом 10 мкм при различных $L_{мдв}$: а – диапазон $\Delta\lambda_1$; б – диапазон $\Delta\lambda_2$

$$m/r \approx 2,533/L_{мдв}, \quad (4)$$

который, как оказалось, является достаточно хорошим приближением для капель воды в широком диапазоне их радиусов от 1 до 10 мкм. Радиусы более 10 мкм не исследовались, хотя, как следует из тенденций поведения графиков на рис. 1, для них оценка (4) должна оказаться еще более точной. Здесь $L_{мдв}$ – метеорологическая дальность видимости (м), а величины m и r измеряются в $г/м^3$ и мкм соответственно.

На основе такой методики была выполнена серия расчетов зависимости коэффициента пропускания тумана от дистанции измерения L_u и метеорологической дальности видимости в диапазонах $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$. На графиках рис. 2 и 3 приведены соответствующие расчетные данные. Рис. 2 соответ-

ствует радиусу капель воды в тумане $r=5$ мкм, а рис. 3 – радиусу $r=10$ мкм. На графиках нумерация кривых 1–6 относится к $L_{мдв}$ соответственно 50, 100, 200, 300, 500 и 1000 м.

Данные, приведенные на графиках, показывают, что туман, образованный из капель с радиусом порядка 5 мкм, является более прозрачным в диапазоне 8–14 мкм по сравнению с диапазоном 3–5 мкм. При положительной температуре воздуха (капли с радиусом 10 мкм) прозрачность диапазона 3–5 мкм выше, чем в диапазоне 8–14 мкм, что также отмечалось при анализе данных рис. 1 для показателя экстинкции.

Кривые, приведенные на рис. 2 и рис. 3, могут быть использованы при наличии тумана и при измеренной величине МДВ для оперативной оценки допустимой дистанции ИК-измерений. Рассмотрим пример определения этой дистанции. Если в ИК-приборе отсутствует возможность задания температуры воздуха, влажности и дистанции измерения, то это означает, что в его процессоре задано значение коэффициента пропускания $\tau=1$. В условиях тумана требуется выбрать дистанцию измерения, при которой эта величина соответствует реальному значению с заранее определенной точностью. Оценка требуемой точности может быть выполнена на основе данных, приведенных в работах [5, 6]. Например, требуемая точность составляет 10%. В этом случае, зная МДВ по соответствующей кривой рис. 2 или 3, надо определить дистанцию измерения, которая удовлетворяет условию $\tau \approx 0,9$. Оказывается, что в этом случае для тумана с каплями 5 мкм в диапазоне МДВ 50–1000 м допустимые дистанции измерения L_u составляют не более 1–8 м для ИК-прибора с диапазоном 3–5 мкм и не более 2–30 м для ИК-прибора с диапазоном 8–14 мкм (рис. 2). Если требования по точности для коэффициента пропускания снижаются до 20%, то в этом случае дистанции измерения не должны превышать 2–17 и 3–70 м соответственно.

Если же в ИК-приборе существует возможность задания температуры воздуха, влажности и дистанции, то настройки этих параметров необходимо выбрать такими, чтобы максимально приблизиться к условию $\tau=1$, например вручную снизить вводимую дистанцию или относительную влажность воздуха.

Данные рис. 2 и 3 могут быть также использованы для определения величины коэффициента пропускания воздуха по метеорологической дальности видимости для выбранной произвольной дистанции измерений. Такое определение величины коэффициента пропускания может по-

надобиться в тех случаях, когда по тем или иным причинам не может быть использована «короткая» рассмотренная выше допустимая дистанция измерений, например в условиях пирометрического измерения температуры сильно нагретого или труднодоступного объекта или при тепловизионном обследовании с земли средних или верхних этажей здания. Найденная величина коэффициента пропускания может быть использована, когда после термографирования в условиях тумана проводится математическая обработка результатов с целью уточнения результатов измерений.

Выводы. Представленные данные показывают основные закономерности поглощения и пропускания ИК-излучения в туманах. Расчетные данные приведены для двух основных рабочих диапазонов длин волн используемых на практике ИК-приборов – 8–14 и 3–5 мкм. Из приведенных результатов следует, что в условиях туманов принципиально может быть получена высокая точность измерения температуры, которая достигается на дистанциях измерения от нескольких метров до нескольких десятков метров. В туманах по величине метеорологической дальности видимости возможно определение коэффициента пропускания воздуха на больших дистанциях измерения по порядку величин, сравнимых с самой метеорологической дальностью видимости.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении инфракрасного термографирования в условиях туманов, а также при обработке полученных термограмм и данных пирометрического измерения. Результаты позволяют существенно расширить возможности инфракрасного термографирования за счет его использования в условиях туманов.

Предложенная методология имеет перспективу дальнейшего развития и может быть применена для исследования источников замутнения воздуха, отличных от туманов, например пылевых образований, городских смогов и др.

Список литературы

1. Окунев А.Ю., Левин Е.В., Шагинян К.С. Современные подходы к тепловизионному обследованию строительных объектов // *Жилищное строительство*. 2012. № 5. С. 7–9.
2. Вавилов В.П., Лариошина И.А. Методические погрешности тепловизионного энергоаудита строительных сооружений // *Вестник науки Сибири*. 2012. № 5 (6). С. 49–53.
3. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. 2-е изд. М.: ИД «Спектр», 2013. 575 с.
4. Енюшин В.Н., Крайнов Д.В. О влиянии излучательной способности поверхности исследуемого объекта на точность измерения температур при тепловизионном обследовании // *Известия КГАСУ*. 2013. № 1 (23). С. 99–103.
5. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии. М.: НИИСФ РААСН, 2012. 176 с.
6. Левин Е.В., Окунев А.Ю. Исследование точности измерения температуры на основе анализа энергетического баланса на приемнике излучения ИК-прибора // *Измерительная техника*. 2015. № 5. С. 48–52.
7. Карманное руководство «Термография». Теория – Практическое применение – Советы и рекомендации. М.: ООО ТНЦ «Спектр» – российский партнер «Тесторус», 2010. 56 с.
8. Пришивалко А.П., Бабенко В.А., Кузьмин В.Н. Рассеяние и поглощение света неоднородными и анизотропными сферическими частицами. Минск: Наука и техника, 1984. 263 с.
9. Passman S., Larmore L. Atmosphere transmission. Rand Paper 897. Rand Corporation, Santa Monica. 1956.
10. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение / Пер. с фр. М.: Мир, 1988. 416 с.
11. Kerker M. The scattering of light and other electromagnetic radiation. New York: Academic. 1969. 670 p.
12. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / Пер. с англ. М., Мир. 1986. 664 с.

References

1. Okunev A.Yu., Levin E.V., Shaginyan K.S. Modern approaches to thermal imaging survey of building objects. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 6, pp. 7–9. (In Russian).
2. Vavilov V.P., Larioshina I.A. Methodical errors of a building constructions thermovision energy audit. *Vestnik Nauki Sibiri*. 2012. No. 5 (6), pp. 49–53. (In Russian).
3. Vavilov V.P. Infrazrasnaya termografiya i teplovoy control [Infrared termografiya and thermal control]. 2nd edition. Moscow: Publishing house «Spektr». 2013. 575 p.
4. Enyushin V. N., Krainov D. V. About of influence of radiating ability of a surface of the studied object on the accuracy of measurement of temperatures at thermovision inspection. *Izvestiya KGASU*. 2013. No. 1 (23), pp. 99–103. (In Russian).
5. Levin E.V., Okunev A.Yu., Umnyakova N.P., Shubin I.L. Osnovy sovremennoy stroitel'noy termografii [Basics of the modern construction termography]. Moscow: NIISF RAASN. 2012. 176 p.
6. Levin E.V., Okunev A.Yu. Research of temperature measurement accuracy on the basis of the power balance analysis on the IK-device radiation receiver. *Izmeritel'naya tekhnika*. 2015. No. 5, pp. 48–52 (In Russian).
7. Karmannoye rukovodstvo «Termografiya». Teoriya – Prakticheskoye primeneniye – Sovety i rekomendacii [The Pocket handbook «Termography». The theory – Practical application – Advices and recommendations]. Moscow: JSC TNC «Spektr» – the Russian partner of «Testo-rus». 2010. 56 p.
8. Prishivalko A.P., Babenko V.A., Kuzmin V.N. Rasseyaniye i pogloscheniye sveta neodnorodnymi i anizotropnymi sfericheskimi chastitsami [Dispersion and absorption of light by non-uniform and anisotropic spherical particles]. Minsk: Nauka i tekhnika. 1984. 263 p.
9. Passman S., Larmore L. Atmosphere transmission. Rand Paper 897. Rand Corporation, Santa Monica. 1956.
10. Gaussorgues G. Infrazrasnaya termografiya. Osnovy, tekhnika, primeneniye [Infrared thermography. Basics, equipment and application]. Moscow: Mir. 1988. 416 p.
11. Kerker M. The scattering of light and other electromagnetic radiation. New York: Academic. 1969. 670 p.
12. Bohren C., Huffman D. Pogloscheniye i rasseyaniye sveta malymi chastizami [Absorption and scattering of light by small particles]. Moscow: Mir. 1986. 664 p.

УДК 691:332.821:345.543

А.М. КРЫГИНА, канд. техн. наук (kriginaam@mail.ru)

Юго-Западный государственный университет (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94)

Ресурсо-, энергосбережение и экологичность строительства как основа инновационного устойчивого развития жилищной недвижимости

Рассмотрены концептуальные вопросы инновационно-устойчивого развития жилищного строительства в РФ. Показано, что в условиях усиления антропогенного воздействия и нарастания дисбаланса между производственной деятельностью предприятий инвестиционно-строительного комплекса и ассимиляционными возможностями окружающей среды необходимо переход на строительство объектов экожилой недвижимости, технологии «зеленого» строительства, предполагающие создание комфортной и безопасной жилой среды, рациональное использование природных ресурсов и минимизацию негативного воздействия на природу на всех этапах жизненного цикла здания, в том числе на стадии эксплуатации, на которую приходится до 80% совокупных затрат. Рассмотрены основные вопросы инновационно-технологического развития экожилых объектов с использованием сборно-каркасных технологий деревянного домостроения. Разработана модель взаимодействия строительной организационно-экономической системы – предприятий инвестиционно-строительного комплекса с окружающей природной средой и социальной подсистемой.

Ключевые слова: энергоэффективность, ресурсоэффективность, экожилье, экологичность, энергосбережение, ресурсосбережение.

A.M. KRYGINA, Candidate of Sciences(kriginaam@mail.ru), Southwest State University (94. 50 let Oktyabrya Street, 305040, Kursk, Russian Federation)

Resource, Energy Saving and Ecological Compatibility of Construction as a Basis of Innovative Sustainable Development of Housing Estate

Conceptual issues of the innovative-sustainable development of housing construction in the Russian Federation are considered. It is shown that under conditions of increasing the anthropogenic impact and growing the imbalance between the production activity of enterprises of the investment-construction complex and assimilative capacities of the environment, it is necessary to proceed to the construction of objects of the eco-residential real estate, technologies of «green» construction involving the creation of comfort and safe living environment, rational use of the natural resources and minimization of the negative impact on the nature at all the stages of the building life cycle including at the stage of operation which accounts for 80% of total costs. Main issues of the innovative-technological development of eco-residential objects with the use of prefabricated-frame techniques of timber housing construction are considered. The model of interaction of the construction organizational-economical systems-enterprises of the investment-construction complex with the natural environment and the social sub-system has been developed.

Keywords: energy efficiency, resource efficiency, eco-housing, ecological compatibility, energy saving, resource saving.

В сложных экономических условиях, при опережающих темпах роста цен на энергоносители устойчивое развитие Российской Федерации возможно при обеспечении энерго-, ресурсоэффективности и экологичности как экономики РФ в целом, так и региональных и отраслевых экономик, в том числе инвестиционно-строительного комплекса. Обеспечение инновационно-устойчивого развития жилищного строительства – ключевая стратегическая задача, от которой зависят социальный уровень и качество жизни населения территории, их безопасность и благополучие, а также эффективное функционирование российской экономики в целом. Проблема обеспечения граждан РФ доступным и комфортным жильем по-прежнему остается приоритетной государственной задачей, при том что обеспеченность жилой площадью на 1 чел. в РФ составляет только 23–24 м²/чел. (для сравнения, в странах Европы, США данный показатель 40–70 м²/чел.) [1].

В современных условиях обострения противоречий, связанных с истощением природных ресурсов и загрязнением окружающей среды, в том числе от деятельности предприятий строительной отрасли, важнейшим принципом устойчивого развития территории региона и ее инвестиционно-

строительного комплекса является реализация концепции сбалансированного развития социально-экологической и социально-экономической системы на основе баланса потребностей и возможностей предприятий-застройщиков и подрядных организаций инвестиционно-строительного комплекса, баланса потребностей и возможностей предприятий стройиндустрии и воспроизводственных возможностей окружающей среды.

Развитие жилищного строительства должно исходить из соизмерения антропогенного воздействия на природу и ее устойчивости к этому воздействию, обеспечения минимизации потребления природных ресурсов, в первую очередь тепловых и энергетических.

Актуальным представляется строительство зданий нового типа – объектов экожилищной недвижимости, характеризующихся энергоэффективностью и экологичностью, удовлетворяющих требованиям:

- рационального использования возобновляемых ресурсов (энергии земли, воды, ветра и др.);
- минимизации отрицательного воздействия объектов эконедвижимости на окружающую среду как в процессе

строительства, так и эксплуатации (так как именно на данный этап жизненного цикла здания приходится до 80% общих затрат) [2];

– безопасной утилизации объекта недвижимости и обеспечения комфортных условий для проживания людей.

Анализ проблем повышения эффективности использования природных ресурсов при эксплуатации городского жилого фонда и производственной инфраструктуры для развития регионов имеет очень важное значение.

Общая площадь эксплуатируемых зданий в Российской Федерации составляет примерно 5 млрд м². На отопление жилых зданий в России затрачивается около 40–45% вырабатываемой в нашей стране тепловой энергии [3]. На выработку тепловой энергии расходуется около 30% невозобновляемых теплоэнергоресурсов нашей страны [3]. В деле перерасхода энергоресурсов лидирует система отечественного ЖКХ, которая потребляет до 20% электрической и 45% тепловой энергии. Для сравнения, в странах Евросоюза совокупные расходы зданий на отопление, вентиляцию, кондиционирование и освещение составляют не более 25% вырабатываемой энергии. В странах Европы, например в Финляндии, близкой нам по климатическим условиям, стоимость проданного в год тепла составляет около 200 дол. США на душу населения; в России этот показатель находится в пределах 600–850 дол. [3]. Несмотря на ужесточение нормативов по строительной теплотехнике, удельный расход тепловой энергии в России, в частности по жилым зданиям, в 1,5–2 раза превышает аналогичные нормативы стран ЕС с такими же климатическими условиями.

Показатель удельного энергопотребления зданий в государствах ЕС в среднем не превышает 140 кВт·ч/м² в год, в то время как в России фактическая средняя энергоемкость систем отопления и горячего водоснабжения зданий составляет 229 кВт·ч/м² в год. Потребление энергии в первых типовых зданиях массовой застройки достигает 350–400 кВт·ч/м² в год.

Авторами предложены концептуальные основы взаимодействия между участниками инвестиционно-строительного комплекса при строительстве объектов жилищной экономики и внедрении энерго- и ресурсосберегающих технологий [2, 4], включающие схему взаимодействия инновационной строительной организационно-экономической

Таблица 1
Себестоимость 1 м² жилого помещения

Строительный материал	Средняя себестоимость 1 м ² жилого помещения (домокомплект без отделки и внешних сетей), тыс. р.
Кирпич	20
Дерево	16
Строительные материалы из древесины глубокой переработки	10
Пенополистирол	9
Ячеистый бетон	8

системы на территориально-региональном уровне – предприятий инвестиционно-строительного комплекса с окружающей природной средой и социальной подсистемой [5]. Концепция инновационного развития жилищного строительства территории региона предполагает перенесение основного акцента прежде всего на экологизацию технологической цепочки влияния социальной и организационно-экономической подсистем на окружающую среду при одновременном ослаблении взаимовлияния указанных подсистем прежде всего за счет снижения ресурсопотребления и минимизации отходов [5].

«Зеленое» строительство, «зеленые» здания, жизнестойчивые здания – это практика строительства и эксплуатации зданий, целью которой является снижение уровня потребления энергетических и материальных (природных) ресурсов при одновременном повышении качества зданий, комфорта их внутренней среды и сохранении экологической безопасности [2, 3].

Основные задачи, которые предполагается решать с помощью «зеленого» строительства:

- сокращение совокупного (за весь жизненный цикл здания) негативного воздействия строительной деятельности на здоровье человека и окружающую среду, достигаемое за счет применения инновационных технологий и организационных решений;
- создание рынка доступного жилья для различных слоев населения;
- повышение производительности организационно-производственной строительной системы и создание новых рабочих мест в сфере строительного производства;

Таблица 2

Сравнительные характеристики разных типов малоэтажных жилых домов общей площадью 200 м²

Тип дома	Тип фундамента	Трудоёмкость на заводе / стройплощадке, %	Срок монтажа при наличии фундамента	Время года для строительства	Усадка стен	Сроки отделки дома	Комфортное проживание с начала строительства
Кирпичный	Ленточный Монолитный	0 / 100	3–4 мес	Весна, осень	2 года	6 мес	1–2 года
Бревенчатый	Столбчатый Монолитный Ленточный	60 / 40	1–2 мес	В течение года	2 года	3 мес	1 год
Клееный брус	Столбчатый Монолитный Ленточный	70 / 30	2–3 нед.	В течение года	Нет	1 мес	2–3 мес
Газобетонный	Ленточный Монолитный	0 / 100	2–3 мес	Весна, осень	1 год	6 мес	1–2 года
Деревянный панельно-каркасный	Столбчатый Монолитный Ленточный (облегченный)	80 / 20	1 нед.	В течение года	Нет	1 мес	1–1,5 мес
Деревянный модульный	Столбчатый Монолитный Ленточный (облегченный)	95 / 5	2 дня	В течение года	Нет	Заводская отделка	1–2 нед.

- достижение эффективности капложений в экоустойчивое строительство и снижение затрат на содержание объектов жилищной недвижимости;
- снижение нагрузок на региональные энергетические сети и повышение надежности их работы и др.

На современном этапе развития малоэтажного домостроения в РФ основные конструкционные материалы – кирпич и каменные материалы (соответственно 53 и 15%), а также деревянные конструкции (22%); 10% домов строится из других материалов [2, 3].

Традиционные строительные технологии являются в то же время наиболее затратными (табл. 1).

Таким образом, наиболее перспективным с точки зрения экологичности и экономичности строительства является использование древесины и материалов ее переработки.

Сохраняет актуальность применение новых технологий (малоэтажное жилищное строительство с использованием материалов из ячеистого бетона, технологий термоструктурных панелей, модернизированных технологий крупнопанельного домостроения с применением элементов несъемной опалубки из пенополистирола), которые позволяют вести работы в любое время года. При этом затраты на производство, транспортировку, монтаж несущих и ограждающих конструкций и их последующую эксплуатацию более низкие по сравнению с технологиями строительства с использованием традиционных материалов.

Выделим следующую классификацию групп проектов малоэтажного строительства по технологии и себестоимости.

Список литературы

1. Крыгина А.М. Перспективы развития региональной социальной жилищной политики // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 4 (ч. 4). С. 812–817.
2. Крыгина А.М., Грабовый П.Г., Кириллова А.Н. Инновационное развитие малоэтажной жилищной недвижимости. М.: АСВ, 2014. 232 с.
3. Крыгина А.М. Инновационное жилищное строительство: организационно-технические решения. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. 127 с.
4. Крыгина А.М. Формирование конкурентоспособных территориально-воспроизводственных систем в строительстве. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2012. 118 с.
5. Крыгина А.М. Формирование организационно-экономических решений при инновационном жилищном строительстве // *Креативная экономика*. 2014. № 7 (91). С. 86–99.
6. Крыгина А.М., Крыгина Н.М., Самохвалов А.М. Формирование организационно-экономической системы устойчивого развития инновационной эконедвижимости с использованием инструментов государственно-частного партнерства // *Микроэкономика*. 2014. № 5. С. 110–115.
7. Крыгина А.М. Моделирование программно-целевой организации и управления конкурентоспособностью территориально-воспроизводственных систем в строительстве // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 10. С. 59–62.
8. Крыгина А.М. Концептуальные основы развития и трансформации конкурентоспособности организационных территориально-воспроизводственных систем в строительстве // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10 (ч. 5). С. 996–1000.

1. *Каменные дома*: кирпич; блоки; несъемная опалубка; монолитно-модульные конструкции. Диапазон себестоимости 1 м² дома: среднеминимальное значение – 15 тыс. р./ м², максимальное – 21 тыс. р./ м² [2].

2. *Каркасные дома*: деревянный, металлический каркас; объемно-модульные здания; SIP-панели (14–25 тыс. р./ м²).

3. *Деревянные дома*: клееный, профилированный брус; оцилиндрованное бревно (10–22 тыс. р./ м²).

При этом теплотери на 1 м² панельного и кирпичного дома в пересчете на условное топливо в РФ в шесть раз выше по сравнению со странами ЕС (12 кг/год и 2 кг/год соответственно) [2, 3].

Сравнительные характеристики возведения различных типов малоэтажных жилых домов приведены в табл. 2.

Таким образом, наиболее эффективным с технологической, экономической позиций в настоящее время представляется использование каркасных систем жилых зданий на основе материалов из древесины как наиболее доступных, технологически эффективных и экологически безопасных.

В целом переход к организации и управлению территориальным инновационным строительством на региональном уровне означает, по сути, переход к устойчивому его развитию [2, 4, 6, 7] и минимизации энергоресурсов, к процессу постоянного согласования общественных потребностей и интересов со степенью устойчивости природной среды. Развитие организационно-производственной интеграции [6, 7, 8] между участниками инвестиционно-строительных экопроектов будет способствовать постоянному наращиванию территориально-регионального синергетического эффекта.

References

1. Krygina A.M. Prospects of development of regional social housing policy. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013. No. 4 (part 4), pp. 812–817. (In Russian).
2. Krygina A.M., Grabovy P.G., Kirillova A.N. Innovatsionnoe razvitiye maloetazhnoi zhilishchnoi nedvizhimosti [Innovative development of low housing real estate]. Moscow: ASV. 2014. 232 p. (In Russian).
3. Krygina A.M. Innovatsionnoe zhilishchnoe stroitel'stvo: organizatsionno-tekhnicheskie resheniya [Innovative housing construction: organizational-technical solutions]. Kurk: SWSU. 2013. 127 p. (In Russian).
4. Krygina A.M. Formirovanie konkurentosposobnykh territorial'no-vosproizvodstvennykh sistem v stroitel'stve [Formation of competitive territorial and reproduction systems in construction]. Kurk: SWSU. 2012. 118 p. (In Russian).
5. Krygina A.M. Formation of organizational and economic decisions at innovative housing construction. *Kreativnaya ekonomika*. 2014. No. 7 (91), pp. 86–99. (In Russian).
6. Krygina A.M., Krygina N.M., Samohvalov A.M. Formation of organizational and economic system of a sustainable development of innovative ecoreal estate with use of instruments of public-private partnership. *Mikroekonomika*. 2014. No. 5, pp. 110–115. (In Russian).
7. Krygina A.M. Modeling of the program and target organization and management of competitiveness of territorial and reproduction systems in construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 10, pp. 59–62. (In Russian).
8. Krygina A.M. Conceptual bases of development and transformation of competitiveness of organizational territorial and reproduction systems in construction. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013. No. 10 (part 5), pp. 996–1000. (In Russian).

УДК 699.86

Е. В. КОРКИНА, инженер (Elena.v.korkina@gmail.com)

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21)

Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам

С целью сокращения тепловых потерь здания через окна применяются стекла с низкоэмиссионными покрытиями, обладающие пониженным коэффициентом светопропускания. При проектировании зданий с такими стеклами необходимо определить размеры светового проема, при котором соблюдаются нормы по естественному освещению. Рассмотрена задача сохранения уровня трансмиссионных потерь через оболочку здания и уровня естественной освещенности при измерении размеров и заполнения светопроема. Выведены уравнения приращения площади светопроема из двух условий: равенства освещенностей и равенства теплопотерь. Для этого рассмотрен коэффициент естественной освещенности (КЕО) и удельная теплозащитная характеристика здания. На основе уравнений приращения площади получен критерий равноэффективности оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам. Рассмотрен расчет теплотехнических показателей, входящих в критерий. В заключение приведен анализ влияния входящих в критерий показателей на его значение.

Ключевые слова: светопропускание, энергосбережение, равноэффективность, естественное освещение, низкоэмиссионные покрытия.

E.V. KORKINA, Engineer (Elena.v.korkina@gmail.com)

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

Comprehensive Comparison of Window Blocks for Lighting and Thermotechnical Parameters

To reduce heat losses of a building through the windows, the glasses with low-emission coatings having the lowered coefficient of transparency are used. When designing buildings with these glasses, it is necessary to determine dimensions of a light aperture which meets the norms of natural lighting. The problem to maintain the level of transmission losses through the building envelope and the level of natural lighting when measuring dimensions and filling the light aperture is considered. Equations of increment in the square of the lighting aperture are derived on the basis of two conditions: equality of illumination and equality of heat losses. For this, the coefficient of natural illumination (CNI) and the specific heat protection characteristic of the building are considered. On the basis of equations of increment in the area of lighting aperture, the criterion of equal efficiency of window blocks according to lighting and thermotechnical parameters has been obtained. The calculation of thermotechnical indicators included in the criterion is considered. In conclusion, the analysis of the impact of indicators included in the criterion on its value is presented.

Keywords: light transmission, energy saving, natural illumination, low-emission coatings.

Применение современных окон с повышенным сопротивлением теплопередаче позволяет существенно сократить тепловые потери здания [1–3]. В таких окнах применяются стекла с низкоэмиссионными покрытиями, которые могут обладать пониженным значением коэффициента пропускания света [1]. Поэтому при использовании окон со стеклами с низкоэмиссионными покрытиями взамен традиционных для сохранения уровня естественной освещенности необходимо увеличивать площадь светопроемов, что, в свою очередь, приводит к некоторому увеличению тепловых потерь здания. Поэтому представляется целесообразным найти выражение, включающее светотехнические и теплотехнические параметры для общей оценки оконных блоков.

Задача переформулируется следующим образом: определить соотношение между коэффициентом светопропускания оконного блока τ_0 , сопротивлением теплопередаче оконного блока $R_{ок}$, приведенным сопротивлением теплопередаче стены $R_{ст}$, при которых суммарные трансмиссионные теплопотери стены с оконным блоком остаются прежними и при этом не изменится освещенность в помещениях здания. Решение задачи приводит к оценке блоков по их равноэффективности, и для них можно вычислить площади светопроемов, обеспечивающих решение поставленной задачи.

Рассмотрим два варианта оконных блоков, установленных в стене площадью A , m^2 , со значением приведенного сопротивления теплопередаче $R_{ст}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$:

1. Площадь светопроема составляет $A_{ок1}$, и в него установлен оконный блок с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_{ок1}$ и коэффициентом светопропускания τ_{01} ;

2. Площадь светопроема увеличена до значения $A_{ок1} + \Delta A$, и в него установлен оконный блок с приведенным сопротивлением теплопередаче $R_{ок2}$ и коэффициентом светопропускания τ_{02} .

При этом предполагается, что $R_{ок2} > R_{ок1}$; $\tau_{02} < \tau_{01}$.

Оценка блоков по светотехническим и теплофизическим параметрам была предложена в [4–5]. В данной статье метод [5] распространен на использование приведенного сопротивления теплопередаче оконного блока.

Соотношение, полученное из равенства освещенностей. Светотехнические свойства оконных блоков рассматривались в работах [6–9], они характеризуются при помощи общего коэффициента светопропускания τ_0 : чем больше его величина, тем лучше этот оконный блок будет служить с точки зрения своего основного функционального назначения.

Естественное освещение помещения нормируется при помощи коэффициента естественной освещенности КЕО

в расчетной точке помещения. Условие неизменности нормируемых светотехнических условий в помещении при двух вариантах заполнения светопроема заключается в равенстве рассчитанных значений КЕО:

$$e_{p1}^6 = e_{p2}^6 \quad (1)$$

Можно предположить, что как при первом, так и при втором варианте проектирования светопроема рассчитанное значение КЕО близко к нормируемому, поскольку рассматривается случай с ограниченной возможностью естественного освещения. Кроме того, предполагается, что составляющая КЕО, создаваемая прямым светом участков неба, видимых через светопроемы, равна нулю и все естественное освещение создается светом, отраженным от противостоящего здания. Тогда условие неизменности освещенности можно записать в виде:

$$\varepsilon_{301} \tau_{01} = \varepsilon_{302} \tau_{02} \quad (2)$$

Геометрический КЕО для отраженного света от здания вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_{30} = 0,01 \cdot (n'_1 \cdot n'_2) \quad (3)$$

где n'_1 и n'_2 определяются при помощи графиков Данилюка и представляют собой количество лучей, проходящих от противостоящего здания в расчетную точку помещения, соответственно в разрезе и плане помещения. Эти значения возможно также вычислить по формулам геометрического КЕО, приведенным в [9].

Величины n'_1 и n'_2 зависят от размеров помещения, светопроема и от взаимного расположения расчетной точки и светопроема [5]. Можно считать, что n'_1 является функцией $h_{ок}/L$, а n'_2 – функцией $b_{ок}/L$; где L – расстояние от расчетной точки до центра светопроема, м; $h_{ок}$, $b_{ок}$ – высота и ширина светопроема соответственно, м.

Значения $b_{ок}/L \leq 0,7$ покрывают весь интервал существующих для практики значений ширины оконного проема и расстояний от него до расчетной точки. Например, при $b_{ок}=1$ м и $L \geq 1,4$ м, а при $b_{ок}=2$ м $L \geq 2,8$ м. Поскольку расчетная точка берется на расстоянии 1 м от стены, противоположной световому проему, диапазон изменения $b_{ок}/L \leq 0,7$ соответствует помещениям глубиной более 2,5 м. Практически все помещения таковыми и являются.

При значениях $b_{ок}/L$ от 0 до 0,7 n'_2 практически пропорционально $b_{ок}/L$, с коэффициентом пропорциональности p_2 т. е.:

$$n'_2 = p_2 \cdot b_{ок}/L \quad (4)$$

Аналогичная зависимость справедлива и для n'_1 с коэффициентом пропорциональности p_1 :

$$n'_1 = p_1 \cdot h_{ок}/L \quad (5)$$

Подстановка (4) и (5) в (2) после преобразований и сокращения произведения коэффициентов пропорциональности ($p_1 \cdot p_2$) дает:

$$\frac{b_{ок1} h_{ок1}}{L_1} \tau_{01} = \frac{b_{ок2} h_{ок2}}{L_2} \tau_{02} \quad (6)$$

где: $b_{ок1}$, $h_{ок1}$ – ширина и высота светопроема соответственно по первому варианту проектирования светопроема, м; $b_{ок2}$, $h_{ок2}$ – то же, по второму варианту.

Произведение $b_{ок} \cdot h_{ок}$ является площадью светопроема, а $L_1 \approx L_2$. Тогда из формулы (6) следует:

$$A_{ок} \cdot \tau_{01} = (A_{ок} + \Delta A) \cdot \tau_{02} \quad (7)$$

После преобразования выражения (7) получаем значение увеличения площади светопроема, при котором условия естественного освещения помещения не изменятся:

$$\Delta A = A_{ок} \cdot \frac{\tau_{01} - \tau_{02}}{\tau_{02}} \quad (8)$$

Соотношение, полученное из равенства трансмиссионных теплопотерь. Трансмиссионные потери теплоты через оболочку здания определяются удельной теплозащитной характеристикой здания $k_{об}$, Вт/(м³·°C) по формуле [10]:

$$k_{об} = \frac{1}{V} \sum \frac{A_i}{R_{oi}^{np}} \quad (9)$$

где V – объем здания, м³; A_i , R_{oi}^{np} – площадь (м²) и приведенное сопротивление теплопередаче отдельной ограждающей конструкции соответственно (м²·°C/Вт). Они складываются из теплопотерь через каждую ограждающую конструкцию.

При замене оконных блоков уменьшается площадь стен и увеличивается площадь окон. Тогда для того чтобы значение $k_{об}$ в (9) не изменилось, необходимо выполнение равенства:

$$\frac{A_{cm}}{R_{cm}} + \frac{A_{ок}}{R_{ок1}} = \frac{A_{cm} - \Delta A}{R_{cm}} + \frac{A_{ок} + \Delta A}{R_{ок2}} \quad (10)$$

Как следует из (10), значение приращения площади записывается в виде:

$$\Delta A = A_{ок} \cdot \left[\frac{R_{ок2} - R_{ок1}}{R_{cm} - R_{ок2}} \cdot \frac{R_{cm}}{R_{ок1}} \right] \quad (11)$$

Условие равноэффективности оконных блоков. Система уравнений (8) и (11) выражает условия, при которых не изменяются условия освещенности в помещении и сохраняются трансмиссионные потери теплоты через систему стена – окно. Такая система будет иметь решение только при определенных соотношениях используемых параметров оконных блоков. Это выражается приравнением правых частей уравнений (8) и (11):

$$\frac{R_{ок2} - R_{ок1}}{R_{cm} - R_{ок2}} \cdot \frac{R_{cm}}{R_{ок1}} = \frac{\tau_{01} - \tau_{02}}{\tau_{02}} \quad (12)$$

Отсюда следует условие [5] для оконных блоков, при котором оба варианта проектирования светопроема эквивалентны в светотехническом и теплозащитном отношениях:

$$\frac{\tau_{01} R_{ок1}}{R_{cm} - R_{ок1}} = \frac{\tau_{02} R_{ок2}}{R_{cm} - R_{ок2}} \quad (13)$$

Приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока определяется в соответствии с СП 50.13330.2012

«Тепловая защита зданий» в рекомендуемом приложении К по формуле (Е.1) из этого СП:

$$R_{ок} = \frac{1}{U_o + \sum I_j \Psi_j}, \quad (14)$$

где U_o – коэффициент теплопередачи в центре стеклопакета, Вт/(м²·°С); Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность j -го вида, Вт/(м²·°С); $\sum I_j \Psi_j$ – плотность потока теплоты через переплеты оконного блока, Вт/(м²·°С).

Из (13) с учетом (14) следует выражение для критерия равноэффективности оконного блока:

$$P = \frac{\tau_0}{(U_o + \sum I_j \Psi_j) R_{cm} - 1}. \quad (15)$$

Чем больше значение P , тем эффективнее будет оконный блок при установке его в систему стена – окно.

Определение теплотехнических параметров, входящих в критерий равноэффективности оконных блоков. В показатель P входит в качестве параметра значение сопротивления теплопередаче стены R_{cm} . Чем меньше будет принято значение R_{cm} , тем более эффективным окажется применение современных оконных блоков с повышенным уровнем теплозащиты. С другой стороны, большие значения приведенного сопротивления теплопередаче стен пока редко достигаются на практике. Для современных стеновых ограждающих конструкций можно принять значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_{cm} = 2,5$ м²·°С/Вт. При таком значении показатель P существенно зависит от характеристик оконного блока.

Закключение. Комплексный показатель P зависит от входящих в него параметров оконного блока при $R_{cm} > R_{ок}$. При фиксированном значении R_{cm} с ростом τ_0 возрастает и величина показателя P . С ростом $R_{ок}$ величина показателя P также возрастает. Следовательно, чем выше теплотехнические и светотехнические показатели оконного блока, тем больше значение комплексного показателя P . Однако часто с ростом $R_{ок}$ значение τ_0 убывает. Если при рассматриваемых двух способах проектирования светопроема при обеспечении одинаковых теплотерь значений P_2 больше P_1 , то это означает, что освещенность в помещении при втором способе будет выше. Если же P_2 больше P_1 и обеспечена одинаковая освещенность в помещении, то теплотери во втором случае будут ниже, чем в первом. Таким образом, при помощи комплексного показателя можно сопоставлять варианты заполнения светопроема.

Список литературы

1. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий. СПб.: Выбор, 2008. 360 с.
2. Carmody J., Selkowitz S., Heschong L. Residential Windows. A guide to new technologies and energy performance. New York, London. 1996. 214 p.
3. Smith N., Isaacs N., Burgess J., Cox-Smith I. Thermal performance of secondary glazing as a retrofit alternative for single-glazed windows // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 54, pp. 47–51.

4. Савин В.К. Окна для массового строительства жилых зданий в Москве и Московской области // *Окна и двери*. 1997. № 2. С. 21–23.
5. Гагарин В.Г., Земцов В.А., Игумнов Н.М. Равноэффективность оконных блоков по параметрам теплозащиты и светопропускания // *Вестник отделения строительных наук РААСН*. Белгород. 2008. № 12. С. 342–349.
6. 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.
7. Закируллин Р.С. Селективное регулирование светопропускания стекла и остекленных конструкций // *Вестник ОГУ*. 2011. № 6 (125). С. 172–180.
8. Халикова Ф.Р., Куприянов В.Н. Экспериментальные исследования проникновения УФ радиации через оконные стекла // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. Т. 2. С. 30–35.
9. Соловьев А.К. Физика среды. М.: Издательство АСВ, 2008. 344 с.
10. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // *Жилищное строительство*. 2011. № 8. С. 2–6.

References

1. Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zaharov A.V. Proektirovanie sovremennykh okonnykh sistem grazhdanskih zdaniy [Design of modern window systems of civil buildings]. Saint-Petersburg: Vybor. 2008. 360 p.
2. Carmody J., Selkowitz S., Heschong L. Residential Windows. A guide to new technologies and energy performance. New York, London. 1996. 214 p.
3. Smith N., Isaacs N., Burgess J., Cox-Smith I. Thermal performance of secondary glazing as a retrofit alternative for single-glazed windows. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 54, pp. 47–51.
4. Savin V.K. Windows for mass construction of residential buildings in Moscow and Moscow region. *Okna i dveri*. 1997. No. 2, pp. 21–23. (In Russian).
5. Gagarin V.G., Zemcov V.A., Igumnov N.M. Equal efficiency window units in the parameters of thermal protection and light transmission. *Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk. RAASN*. Belgorod. 2008. No. 12, pp. 342–349. (In Russian).
6. Zemcov V.A., Gagarina E.V. Calculation-experimental method for the determination of total light transmittance of the window block. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2010. No. 3, pp. 472–476. (In Russian).
7. Zakirullin R.S. Selective control of the light transmission glass and glazing construction. *Vestnik OGU*. 2011. № 6 (125), pp. 172–180. (In Russian).
8. Halikova F.R., Kuprijanov V.N. Experimental studies of the penetration of UV radiation through glass window. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3. Vol. 2, pp. 30–35. (In Russian).
9. Solov'ev A.K. Fizika sredy [Physics of environment] Moscow: ASV. 2008. 344 p.
10. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Requirements for thermal protection and energy efficiency in the draft of the updated SNiP «Thermal Protection of Buildings». *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 8, pp. 2–6. (In Russian).

УДК 621.1

А.М. ЦИРЛИН¹, д-р техн. наук (tsirlin@sarc.botik.ru), В.А.КУЗЬМИН¹, инженер,
А.А. АХРЕМЕНКОВ¹, канд.техн наук., В.М. ЦЫГАНКОВ², инженер (tsvladimir@lit.botik.ru),

¹ ИПС им. А.К. Айламазяна РАН (152020, Ярославская обл., г. Переславль-Залесский, м. Ботик, ИПС РАН)

² ЗАО «Завод «ЛИТ» (152020, Ярославская обл., г. Переславль-Залесский, ул. Советская, 1)

Оптимальная организация и предельные возможности систем отопления с тепловым насосом

Получена оценка снизу для затрат энергии на отопление (поддержание заданного распределения температур в системе сообщающихся камер), соответствующие этой оценке распределения суммарных коэффициентов теплообмена и температуры рабочего тела теплового насоса при его контакте с камерами и окружающей средой. Рассмотрена задача о минимальной мощности, которую нужно затратить на поддержание в системе сообщающихся камер заданного температурного поля при ограничении на общую поверхность контакта. Показано, каким условиям должно удовлетворять оптимальное распределение поверхностей теплообмена и температуры контактов рабочего тела теплового насоса с отапливаемыми помещениями и с окружением в задаче отопления. Полученное при выполнении этих условий значение затрачиваемой мощности может служить оценкой снизу для произвольной системы отопления.

Ключевые слова: оценка мощности на отопление, распределение поверхностей контакта, тепловые насосы, выбор оптимальной температуры

А.М. TSIRLIN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (tsirlin@sarc.botik.ru),
V.A. KUZMIN¹, Engineer, V.M. TSIGANKOV², engineer (tsvladimir@lit.botik.ru, A.A. AHREMENKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering)
¹ Program Systems Institute RAS (M.Botik, Pereslavl-Zalesky, Yaroslavl Region, 152020, Russian Federation)
² «Zavod «LIT» ЗАО (1, Sovetskaya Street, Pereslavl-Zalesky, Yaroslavl Region, 152020, Russian Federation)

Optimal Organization and Ultimate Possibilities of Heating Systems with a Heat Pump

A lower estimate of energy consumption for heating (maintenance of the given temperature distribution in the system of communicating chambers) and also distributions of summary heat exchange coefficients and temperature of working fluid of the heat pump at its contact with chambers and environment corresponding to this estimate are obtained. A problem of a minimal power which should be spent for maintaining the set temperature field in the communicating chambers system in case of a limitation on the overall surface of the contact. Conditions to which the optimal distribution of heat exchange surfaces and temperature of contacts of the working fluid of the heat pump with heated premises and the environment in the problem of heating must satisfy are shown. The value of power usage obtained as a result of fulfillment of these conditions can serve as the lower estimate for the arbitrary heating system.

Keywords: estimate of power for heating, distribution of contact surfaces, heat pumps, selection of optimal temperatures.

Одной из основных задач термодинамики с момента ее возникновения является оценка предельных возможностей термодинамических систем. С развитием термодинамики такие оценки уточняют и расширяют их номенклатуру. Так, Карно оценил сверху КПД тепловой машины [1]. Новиков [2], а позднее независимо от него Курзон и Альбурн [3] нашли оценку ее предельной мощности в предположении, что цикл состоит из двух изотерм и двух адиабат. Розоноэр и Цирлин [4] доказали, что оценка Новикова–Курзона–Альбурна справедлива и без предположения о форме цикла и нашли максимум КПД тепловой машины при любой мощности меньшей предельной, а также предельные значения необратимых отопительного и холодильного коэффициентов для обратных циклов при заданной интенсивности потоков.

Рост стоимости энергии делает особенно актуальным получение термодинамических оценок для затрат энергии в тех областях, где эти затраты особенно велики. На отопление и кондиционирование зданий, поддержание заданного поля температур в криогенных и высокотемпературных си-

стемах и пр. человечество тратит больше энергии, чем на химию и металлургию, вместе взятые.

Задача термостатирования – поддержание неравновесной конфигурации температурного поля в системе сообщающихся друг с другом помещений (камер) с минимальными затратами энергии является весьма сложной и актуальной.

В данной статье рассмотрен частный случай такой задачи – задача отопления, когда тепловые потоки, которые необходимо оптимально распределить между камерами, неотрицательны. При использовании для отопления теплового насоса он подает теплоту в каждую из камер так, чтобы в ней поддерживалась заданная температура. Поток теплоты, подаваемой в каждую камеру, зависит от температуры рабочего тела теплового насоса и площади (коэффициента) теплообмена. Общая площадь теплообмена ограничена.

При проектировании системы нужно так выбрать температуры контакта и коэффициенты теплообмена теплового насоса для каждой камеры, чтобы общая затрачиваемая

для отопления мощность была минимальна. Решение данной задачи дает оценку снизу для энергии, которую нужно затратить в стационарном режиме на отопление здания при заданной наружной температуре.

Первый раздел статьи посвящен обсуждению и формулировке задачи оптимизации системы отопления с тепловым насосом. Найдена нижняя оценка для затрат мощности в задаче отопления и соответствующее ей оптимальное решение. Во втором, рассмотрена задача выбора поверхностей теплообмена, когда температура теплоносителя одинакова для всех камер. В каждом случае приведены расчетные соотношения для выбора температуры в помещениях, когда не все температуры фиксированы. В третьем разделе даны иллюстративные примеры использования полученных соотношений.

1. Система отопления с тепловым насосом при фиксированной температуре камер

Рассмотрим систему, состоящую из помещений (камер), каждая из которых характеризуется температурой T_i ($i = 1, n$); резервуара (окружающей среды) с температурой T_0 и теплового насоса, потребляющего мощность P и поддерживающего заданное стационарное распределение температуры (рис. 1).

Предположим, что законы теплопереноса линейно зависят от разности температуры, так что поток теплоты между i -ой и j -ой камерами имеет вид

$$q_{ij} = \alpha_{ij}(T_i - T_j), \quad (1)$$

причем коэффициенты теплопереноса α_{ij} для всех i от нуля до n заданы, при этом $\alpha_{ii} = 0$, а $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$. Если камеры не контактируют друг с другом или не имеют наружных стен, соответствующий коэффициент теплопереноса равен нулю.

Первоначально будем считать все температуры T_i ($i = 0, n$) заданными, причем при $i > 0$ ($i = 0, n$) $T_i > T_0$ (задача отопления). Искомыми в задаче являются температуры рабочего тела $u_i > 0$ ($i = 0, n$) при контакте с резервуаром и камерами, а также коэффициенты $\alpha_i > 0$ ($i = 0, n$), связанные условием:

$$\sum_{i=0}^n \alpha_i = \bar{\alpha}, \quad (2)$$

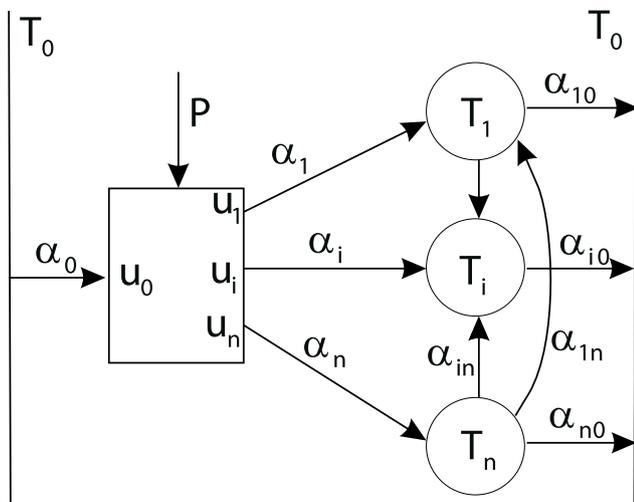


Рис. 1. Структура системы отопления

где $\bar{\alpha}$ — определяется суммарной поверхностью контакта рабочего тела теплового насоса при его теплообмене с окружающей средой и камерами, т. е. в конечном счете размерами теплового насоса. Выбор искоемых переменных проведем по условию минимума потребляемой мощности P . Формализуем поставленную задачу, введя обозначение

$$q_{iv} = \sum_{j=0}^n \alpha_{ij}(T_i - T_j), \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

для суммарного потока теплоты от i -й камеры к ее окружению.

Если для некоторой камеры поток $q_{iv} = 0$, камеру будем называть пассивной, температура такой пассивной камеры по условию (3) равна:

$$T_i^{min} = \frac{\sum_{j=0}^n \alpha_{ij} T_j}{\sum_{j=0}^n \alpha_{ij}}. \quad (4)$$

Тепловой насос с пассивными камерами не контактирует, так как температура в них поддерживается на заданном уровне за счет теплообмена с другими камерами.

По условию теплового баланса поток теплоты от теплового насоса в i -ю камеру:

$$q_i = \alpha_i(u_i - T_i) = q_{iv} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n. \quad (5)$$

Эти потоки в системах отопления заведомо неотрицательны.

1.2. Распределение поверхностей контакта и выбор температур рабочего тела.

Первоначально рассмотрим индивидуальные системы отопления, когда каждую камеру отапливает свой тепловой насос, нужно найти такие коэффициенты α_{0i} и α_i , а также температуры u_{0i} и u_i рабочего тела теплового насоса, чтобы мощность:

$$P_i = q_{iv} - q_{0i} = q_{iv} - \alpha_{0i}(T_0 - u_{0i}) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Так как первое слагаемое фиксировано, то задача сводится к максимизации второго слагаемого при ограничениях на суммарный коэффициент теплообмена и условиях энтропийного баланса рабочего тела:

$$\alpha_{0i} + \alpha_i = \bar{\alpha}_i; \quad (7)$$

$$\frac{q_{0i}}{u_{0i}} = \frac{\alpha_{0i}(T_0 - u_{0i})}{u_{0i}} = \frac{q_{iv}}{u_i}, \quad (8)$$

при этом (см. (5))

$$\alpha_i(u_i) = \frac{q_{iv}}{u_i - T_i}.$$

Из (7) $\alpha_{0i}(u_i) = \bar{\alpha}_i - \alpha_i(u_i)$. Исключая u_{0i} из (8), получим:

$$q_{0i} = \alpha_{0i}(T_0 - u_{0i}) = \frac{q_{iv} \alpha_{0i}(u_i) T_0}{q_{iv} + \alpha_{0i}(u_i) u_i} \rightarrow \max_{u_i}. \quad (9)$$

Условие максимума этого выражения по u_i приводит к равенству:

$$\frac{dq_{0i}}{du_i} = 0 \rightarrow \alpha_i = \frac{q_{iv}}{u_i - T_i} = \frac{\bar{\alpha}_i}{2}, \quad (10)$$

так что оптимальное решение для каждой камеры имеет вид:

$$\alpha_{0i}^* = \alpha_i^* = 0, 5\bar{\alpha}_i; \quad (11)$$

$$u_i^* = T_i + 2 \frac{q_{iv}^*}{\bar{\alpha}_i}; \quad (12)$$

$$q_{0i}^* = \frac{\bar{\alpha}_i q_{iv} T_0}{4q_{iv} + \bar{\alpha}_i T_i}; \quad (13)$$

$$u_{0i}^* = \frac{T_0(2q_{iv} + \bar{\alpha}_i T_i)}{4q_{iv} + \bar{\alpha}_i T_i}; \quad (14)$$

$$P_{\min}^* = q_{iv} - q_{0i}^* = q_{iv} \frac{4q_{iv} + \bar{\alpha}_i(T_i - T_0)}{4q_{iv} + \bar{\alpha}_i T_i}. \quad (15)$$

Таким образом, при заданной температуре во всех помещениях и в окружающей среде, коэффициентах теплообмена между ними и суммарном коэффициенте (поверхности) теплообмена теплового насоса минимальный необходимый поток теплоты на отопление каждой камеры и минимальные затраты мощности определяются выражением (15).

1.3. Взаимосвязанные системы.

Предположим, что ограничения на общую стоимость системы отопления диктуют ограничения на общую поверхность теплообмена тепловых насосов:

$$\sum_i \bar{\alpha}_i = \bar{\alpha}, \quad \bar{\alpha}_i \geq 0. \quad (16)$$

Найдем такое распределение, чтобы:

$$P = \sum_i P_{\min}^*(\bar{\alpha}_i) \rightarrow \min \quad / \quad \sum_i \bar{\alpha}_i = \bar{\alpha}. \quad (17)$$

Условия оптимальности этой задачи приводят к равенству [6]:

$$\frac{dP_{\min}^*}{d\bar{\alpha}_i} = \lambda_0, \quad i = 1, 2, \dots,$$

откуда

$$\frac{q_{iv}^*}{4q_{iv} + \bar{\alpha}_i T_i} = \lambda_0, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (18)$$

что совместно с равенством (16) определяет оптимальное распределение поверхностей теплообмена между индивидуальными отопителями и после подстановки в (17) минимум суммарной мощности. Здесь и далее для краткости обозначим суммарный поток энтропии за счет теплообмена в термостатируемой системе как:

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{q_{iv}^*}{T_i}. \quad (19)$$

Получим с учетом введенного обозначения:

$$\bar{\alpha}_i^* = \bar{\alpha} \frac{q_{iv}^*}{AT_i}. \quad (20)$$

Таким образом, оптимальные суммарные коэффициенты теплообмена теплового насоса для каждой из камер должны быть пропорциональны потоку энтропии при обмене данной камеры с окружением. Отметим, что величина суммарного потока энтропии за счет теплообмена определена условиями задачи.

Подстановка значений $\bar{\alpha}_i^*$ в условия (12)–(15) приводит к выражениям:

$$u_i^* = T_i \left(1 + 2 \frac{A}{\alpha_i}\right), \quad u_{i0}^* = T_0 \frac{2 + \bar{\alpha} / A}{4 + \bar{\alpha} / A} = u_0^* \quad \forall i. \quad (21)$$

Таким образом, при оптимальном распределении поверхностей теплообмена температуры контакта тепловых насосов с окружающей средой должны быть одинаковы.

Это означает, что в системе с общим тепловым насосом (рис. 1) при оптимальном распределении поверхностей контакта рабочего тела с камерами площадь контакта его рабочего тела с окружающей средой должна быть такова, чтобы коэффициент был равен половине общего коэффициента, а температура контакта рабочего тела с резервуаром должна выбираться по формуле (21). Температура и площадь контакта рабочего тела с камерами те же, что и для индивидуальных систем отопления.

Минимальные затраты мощности в системе с оптимальным распределением поверхностей равны:

$$P_{\min}^* = \sum_{i=1}^n q_{iv} - \frac{\bar{\alpha} T_0 A}{\bar{\alpha} + 4A} = \sum_{i=1}^n q_{i0} - \frac{\bar{\alpha} T_0 A}{\bar{\alpha} + 4A}. \quad (22)$$

1.4. Температуры части камер свободны.

В реальных системах отопления фиксирована температура только у части помещений. В этом случае температуру остальных помещений (свободную температуру) нужно поддерживать на таком уровне, чтобы потребляемая тепловая насосом мощность была минимальна. При этом нужно учесть, что температура не может быть меньше своего минимального значения, определяемого условием (4).

Пусть T_v – свободная температура, ее изменение вызовет изменение потока q_{iv} , от которого зависят как первое, так и второе слагаемые в (22). Первое из них возрастает с ростом температуры и связанного с ней потока теплоты в V -ой камере, а второе уменьшается, но так, что суммарное значение затрачиваемой мощности растет. Поэтому минимальным затратам мощности соответствует минимальное значение T_v , совместимое с условием неотрицательности q_{iv} . Так что температура в камере должна выбираться по условию (4), а в выражениях для A и для минимальной мощности поток $q_{iv} = 0$. При распределении поверхности контакта она для помещений со свободными температурами оказывается равной нулю.

2. Температура рабочего тела одинакова для всех камер.

Рассмотрим задачу отопления при помощи теплоносителя с одинаковой температурой u_i для всех камер. Примером может служить водяное или воздушное отопление, когда теплоноситель первоначально нагревают до температуры u_i , а потом распределяют по камерам. Поскольку при данном типе отопления возможно только подавать тепло в помещения, а не отбирать его, не все температурные поля могут быть реализованы. Для определенности будем полагать, что $u_i \geq T_i \quad \forall i$ и рассматривать задачу отопления. Для того чтобы выбранная конфигурация была реализуема, необходимо выполнение следующего условия:

$$q_{iv} = \sum_{j=0}^n \alpha_{ij} (T_i - T_j) \geq 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (23)$$

Формализуем задачу о минимальной мощности для данной системы, предполагая, что все $q_{iv} \geq 0$:

$$P = \sum_{i=1}^n \alpha_i (u_i - T_i) - \alpha_0 (T_0 - u_0) = \sum_{i=1}^n q_{iv} - \alpha_0 (T_0 - u_0) \rightarrow \min_{\alpha_i, u_i, u_0}, \quad (24)$$

при условиях энтропийного баланса рабочего тела теплового насоса:

$$\frac{1}{u_1} \sum_{i=1}^n q_{iv} - \frac{q_0}{u_0} = 0, \quad (25)$$

энергетического баланса для каждого из помещений:

$$q_{iv} = \alpha_i (u_i - T_i) = \sum_{j=0}^n \alpha_{ij} (T_i - T_j), \quad i = \overline{1, n}, \quad (26)$$

суммарном ограничении на поверхность теплообмена:

$$\sum_{i=0}^n \alpha_i = \bar{\alpha}. \quad (27)$$

Так как при фиксированных температурах камер T_i и коэффициентах теплообмена α_{ij} между ними в силу (26) первое слагаемое в правой части (24) фиксировано, задача сводится к максимизации потока, отбираемого от резервуара:

$$q_0 = (\bar{\alpha} - \sum_{i=1}^n \alpha_i) (T_0 - u_0) \rightarrow \max_{\alpha_i, u_i, u_0} \quad (28)$$

при условиях (25)–(27).

2.1. Условия оптимальности.

Рассмотрим задачу (28) при условиях (25)–(27). Исключим u_0 из (25), (27):

$$u_0 = T_0 \frac{\alpha_0}{\frac{1}{u_1} \bar{q} + \alpha_0}, \quad (29)$$

где $\bar{q} = \sum_{i=1}^n q_{iv}$ – суммарный поток теплоты. Величина α_0 зависит от u_1 в силу того, что она равна $\bar{\alpha} - \sum_{i=1}^n \alpha_i$. Выразим α_i из (26):

$$\alpha_i(u_i) = \frac{q_{iv}}{u_i - T_i}. \quad (30)$$

Введем обозначение $\sigma(u_i) = \frac{\bar{q}}{u_i}$ и запишем поток теплоты q_0 через α_0 в форме:

$$q_0 = \alpha_0(u_1)(T_0 - u_0) = T_0 \frac{\alpha_0(u_1)\sigma(u_1)}{\alpha_0(u_1) + \sigma(u_1)}. \quad (31)$$

Это выражение зависит от переменной u_1 , условие максимума q_0 по ней имеет вид:

$$\frac{\partial q_0}{\partial u_1} = 0 \Rightarrow \frac{\partial \alpha_0}{\partial u_1} \sigma^2(u_1) + \frac{\partial \sigma}{\partial u_1} \alpha_0^2(u_1) = 0. \quad (32)$$

Так как:

$$\frac{\partial \alpha_0}{\partial u_1} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{(u_1 - T_i)^2}, \quad \frac{\partial \sigma}{\partial u_1} = -\frac{1}{u_1^2} \bar{q},$$

то условия оптимальности (32) приводят к уравнению:

$$\bar{q} \sum_{i=1}^n \frac{q_{iv}}{(u_1 - T_i)^2} = \left(\bar{\alpha} - \sum_{i=1}^n \frac{q_{iv}}{u_1 - T_i} \right)^2. \quad (33)$$

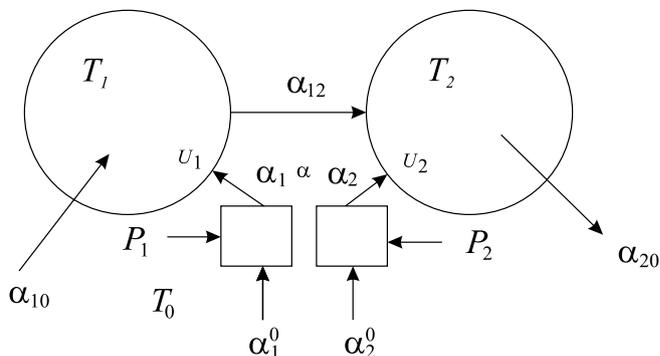


Рис. 2. Структура системы

Решив уравнение (33), находим оптимальное значение u_1^* и по формулам (29), (30) – соответствующие ему значения u_0^* и α_i^* , что определяет после подстановки в равенства (28), (24) величину минимальной мощности, необходимой для поддержания заданного температурного поля.

Ясно, что минимальная потребляемая мощность в этом случае больше той, которая найдена в предыдущем разделе.

2.2. Помещения со свободной температурой.

Если температуры части помещений T_v , $v = \overline{1, m}$ не заданы, то их следует выбирать из условия минимизации затрачиваемой мощности (24) с учетом (28)–(30). Этот минимум, как и в задаче с индивидуальным выбором температур теплоносителя, соответствует минимуму свободных температур, совместимому с условием неотрицательности потоков. Так что температуры T_v , $v = \overline{1, m}$ выбирают по условию (4), а поверхности контакта, а значит и $\alpha_v = 0$.

3. Примеры решения задач оптимизации отопления для систем с тепловым насосом

В приведенных иллюстративных примерах размерность температур соответствует градусам Кельвина, коэффициентов теплообмена – Вт/К, мощности – Вт.

Пример 1. Система из двух камер с индивидуальными преобразователями и общей внешней средой

Заданы:

– требуемые температуры камер: $T_1 = 300^\circ \text{K}$, $T_2 = 295^\circ \text{K}$, а так же температура внешней среды $T_0 = 270^\circ \text{K}$.

– коэффициент теплопередачи между камерами $\alpha_{12} = 100$, а также коэффициенты теплопередачи камер с внешней средой $\alpha_{10} = 20$, $\alpha_{20} = 30$.

– суммарные коэффициенты теплопередачи (поверхности контакта) для рабочего тела тепловых насосов при обмене с окружающей средой и камерами:

$$\alpha_1 + \alpha_1^0 = \bar{\alpha}_1 = 40, \quad \alpha_2 + \alpha_2^0 = \bar{\alpha}_2 = 80, \quad \bar{\alpha} = \bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2 = 120.$$

Найти: минимум потребляемой мощности $P^* = P_1^* + P_2^*$, а также температуры рабочего тела при контакте с внешней средой u_{10} , u_{20} и при контакте с камерами u_1 , u_2 .

Поток теплоты от теплового насоса в первую камеру:

$$q_{1v} = \alpha_{12}(T_1 - T_2) + \alpha_{10}(T_1 - T_0) = 100 \times 5 + 20 \times 30 = 1100;$$

поток теплоты от теплового насоса во вторую камеру:

$$q_{2v} = \alpha_{12}(T_2 - T_1) + \alpha_{20}(T_2 - T_0) = -100 \times 5 + 30 \times 25 = 250.$$

Так что (см. (19)) величина суммарного производства энтропии за счет теплообмена:

$$A = \frac{1100}{300} + \frac{250}{295} = 4,51.$$

Температуры контакта рабочего тела тепловых насосов с камерами (см. (21)) u_1, u_2 :

$$u_1 = 300(1 + 2\frac{4,51}{40}) = 367,65, \quad u_2 = 295(1 + 2\frac{4,51}{80}) = 328,26$$

и температуры контакта рабочего тела тепловых насосов с внешней средой (одинаковы для обоих тепловых насосов):

$$u_{10}^* = u_{20}^* = 270(\frac{2 + \frac{120}{4,51}}{4 + \frac{120}{4,51}}) = 252,35.$$

Минимальные затраты мощности в системе (см. (22)):

$$P_1 = 1100 \frac{4 \times 1100 + 40(300 - 270)}{4 \times 1100 + 40 \times 300} = 375,61.$$

$$P_2 = 250 \frac{4 \times 250 + 80(295 - 270)}{4 \times 250 + 80 \times 295} = 30,49. \quad P = 375,61 + 30,49 = 406,09.$$

Оптимальное распределение поверхности теплообмена для тепловых насосов (см. (20)):

$$\bar{\alpha}_1^* = 120 \frac{1100}{4,51 \times 300} = 97,56; \quad \bar{\alpha}_2^* = 120 \frac{250}{4,51 \times 295} = 22,54.$$

Пример 2. Температура первой камеры фиксирована, температура второй свободна

Рассмотрим ту же систему, что и в предыдущем примере, с той разницей, что температура T_2 не фиксирована:

– требуемые параметры температурного режима камер: $T_1 = 300 \text{ K}$, а также температура внешней среды $T_0 = 270 \text{ K}$.

– коэффициент теплопередачи между камерами $\alpha_{12} = 100$ и коэффициенты теплопередачи камер с внешней средой $\alpha_{10} = 20$; $\alpha_{20} = 30$.

– суммарные коэффициенты теплопередачи (поверхности контакта) для рабочего тела тепловых насосов при обмене с окружающей средой и камерами:

$$\alpha_1 + \alpha_1^0 = \bar{\alpha}_1 = 40; \quad \alpha_2 + \alpha_2^0 = \bar{\alpha}_2 = 80; \quad \bar{\alpha} = \bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2 = 120.$$

Найти: свободную температуру камеры T_2 и соответствующую этому выбору мощность теплового насоса.

По условию (4) температура $T_2 = 293 \text{ K}$.

Величина суммарного производства энтропии за счет теплообмена (см. (19)):

$$A(T_2) = \frac{100(300 - 293) + 20(300 - 270)}{300} = 4,33.$$

Мощность, необходимая для поддержания температур, снижается по сравнению со случаем фиксированных температур и составит $P^* = 278,36$.

Заключение

Показано, каким условиям должно удовлетворять оптимальное распределение поверхностей теплообмена и температуры контактов рабочего тела с отапливаемыми помещениями и с окружением в задаче отопления с использованием тепловых насосов. Полученное при выполнении этих условий значение затрачиваемой мощности может служить оценкой снизу для произвольной системы отопления.

Список литературы

1. Карно С. Размышление о движущей силе огня и о машинах. Второе начало термодинамики. М. Л.: Гостехиздат, 1934.
2. Novikov I.I. The efficiency of atomic power stations // At. Energ. 3 (11), 409 (1957); English translation in J. Nuclear Energy II 7, 25–128 (1958). No 2, 2002.
3. Curzon F.L., Ahlburn B. Efficiency of a Carnot engine at maximum power output. Amer.J. Physics. 1975. V.43, pp. 22–24.
4. Розоноэр Л.И., Цирлин А.М. Оптимальное управление термодинамическими системами // Автоматика и телемеханика. ч. I, II, III, 1983. № 1–3.
5. Tsirlin A.M., Kazakov V., Kolinko N.A. Irreversibility and Limiting Possibilities of Macrocontrolled Systems: I. Thermodynamics // Open Sys. & Information Dyn. 8: 315–328, 2001.
6. Зангвилл У.И. Нелинейное программирование. М.: Сов. Радио, 1966.
7. Умнякова Н.П. Теплозащита замкнутых воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией // Жилищное строительство. 2014. № 1–2. С. 16–20.
8. Умнякова Н.П. Теплопередача через ограждающие конструкции с учетом коэффициентов излучения внутренних поверхностей помещения // Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 14–17.
9. Умнякова Н.П. Снижение теплотерь поверхности за радиаторной стенки // Жилищное строительство. 2015. № 2. С. 21–24.

References

1. Karno S. Razmyshlenie o dvizhushchei sile ognya i o mashinakh. Vtoroe nachalo termodinamiki. Moscow.-Leningrad: Gostekhizdat, 1934.
2. Novikov I.I. The efficiency of atomic power stations // At. Energ. 3 (11), 409 (1957); English translation in J. Nuclear Energy II 7, 25–128 (1958). No 2, 2002.
3. Curzon F.L., Ahlburn B. Efficiency of a Carnot engine at maximum power output. Amer.J. Physics. 1975. V. 43, pp. 22–24.
4. Rozonoer L.I., Tsirlin A.M. Optimal'noe upravlenie termodinamicheskimi sistemami. // Avtomatika i telemekhanika, ch. I, II, III, 1983. No. 1, No. 2, No. 3.
5. Tsirlin A.M., Kazakov V., Kolinko N.A. Irreversibility and Limiting Possibilities of Macrocontrolled Systems: I. Thermodynamics // Open Sys. & Information Dyn. 8: 315–328, 2001.
6. Zangvill U.I. Nelineinoe programmirovaniye. Moscow. Sovetskoe Radio. 1966.
7. Umnyakova N.P. Teplozashchita zamknytykh vozdushnykh prosloek s otrazhatel'noi teploizolyatsiei. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2014. No. 1–2, pp. 16–20. (In Russian).
8. Umnyakova N.P. Teploperedacha cherez ograzhdayushchie konstruktssii s uchetom koefitsientov izlucheniya vnutrennikh poverkhnostei pomeshcheniya. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2014. No. 6, pp. 14–17. (In Russian).
9. Umnyakova N.P. Snizhenie teplopoter' poverkhnosti za radiatornoi stenki. // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2015. No. 2, pp. 21–24. (In Russian).

УДК 699.8:546.7

Л.А. ГУЛАБЯНЦ, д-р техн. наук (lor267gg@yandex.ru)

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21)

Радонозащитная способность ограждающих конструкций зданий и сокращение неоправданных затрат при строительстве

Приведены формулы для расчета сопротивления радонопроницанию заглубленных ограждающих конструкций зданий, а также рассчитанные значения сопротивлений для конструкций из монолитного бетона толщиной от 0,1 до 1 м без гидрогазоизолирующего слоя и в сочетании с ним. Показано, что современные конструкции часто заведомо обеспечивают эффективную противорадоновую защиту зданий даже при экстремальных радоновых нагрузках. В таких случаях затраты на инженерные радиационные изыскания могут быть снижены.

Ключевые слова: радон, грунтовое основание, заглубленные конструкции, сопротивление радонопроницанию, снижение затрат.

L.A. GULABYANTS, Doctor of Sciences (Engineering) (lor267gg@yandex.ru)
Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Radon-Protection Ability of Enclosing Structures of Buildings and Reduction in Unnecessary Costs in Construction

Formulas for the calculation of resistance of embedded enclosing structures of buildings to radon penetration as well as calculated values of resistance for monolithic concrete structures of 0,1–1 m thickness without a hydro-gas isolating layer and in combination with it are presented. It is shown that up-to-date designs obviously ensure the efficient anti-radon protection of buildings even under extreme radon loads. In such cases, expenditures for engineering radiation investigations can be lowered.

Keywords: radon, soil base, embedded structures, resistance to radon penetration, cost reduction.

В Техническом регламенте о безопасности зданий и сооружений содержится ряд требований по обеспечению их радиационной безопасности. Одним из основных параметров, характеризующих уровень радиационной безопасности внутренней среды зданий, является доза облучения людей, формируемая вследствие альфа-излучения радона и его дочерних продуктов, содержащихся во внутреннем воздухе [1].

Впервые в РФ уровень предельно допустимой концентрации (объемной активности) радона в помещениях зданий был установлен в Нормах радиационной безопасности (НРБ РФ) более 20 лет, а в нормах развитых зарубежных стран более 30 лет назад. С момента ввода в действие НРБ по линии Минздрава было разработано и введено в действие множество нормативно-методических документов, регламентирующих порядок проверки зданий на их соответствие требованиям НРБ и соответственно требованиям Технического регламента в части радонобезопасности. Эти требования могут быть выполнены исключительно путем принятия мер, которые должны предусматриваться на стадии разработки конструкторской документации проекта. Однако за последние 20 лет не разработано ни одного методического документа, определяющего правила проектирования зданий, удовлетворяющих поставленным требованиям. В настоящее время ни в одном из документов не установлены ни количественные критерии радонозащитной способности конструкций, ни расчетные методы определения требуемых по сообра-

жениям радонобезопасности параметров конструкций. В результате нередки случаи проектирования и строительства зданий с избыточной или недостаточной противорадоновой защитой. Первое ведет к неоправданному удорожанию строительства, второе – к нарушению требований норм. Таким образом, установленные законом требования существуют, а механизм выполнения этих требований для большинства специалистов проектных организаций остается неизвестным.

Цель статьи заключается в информировании разработчиков проектов жилых и общественных зданий о результатах исследований НИИСФ РААСН, направленных на ликвидацию отмеченного выше пробела.

Основная причина сверхнормативной концентрации радона в жилых и общественных зданиях, как правило, заключается в недостаточной способности ограждающей конструкции, образующей пол или несущий элемент пола подвала (техподполья), препятствовать переносу радона из грунтового основания в здание [2].

Грунты основания в большинстве случаев являются доминирующим источником поступлений радона и в зависимости от уровня концентрации в них природного радия-226 (материнского продукта радона) могут создавать весьма высокую радоновую нагрузку на конструкцию. Плотность потока радона, проникающего из грунта в здание, может измеряться десятками и даже сотнями МБк/(м²·с). Определенный вклад в суммарные поступления радона в здание вносят материалы ограждающих конструкций. Однако этот

вклад относительно невелик. Например, удельные поступления радона в помещение, обусловленные его выделением внутри несущих стен из бетона, кирпича и т. п., в среднем составляют 2,5 и не превышают 5 мБк/(м²·с). При таких поступлениях и кратности воздухообмена не ниже 0,2 ч⁻¹ концентрация радона в помещениях близка к концентрации в наружном воздухе.

Будет ли здание заведомо и при любых обстоятельствах в достаточной мере защищено от избыточных поступлений радона или же с высокой вероятностью могут потребоваться специальные дополнительные мероприятия по его защите, предопределяется на стадии разработки проекта при выборе типа предполагаемого фундамента. Наиболее «слабыми» в рассматриваемом отношении являются малоэтажные здания (в том числе строящиеся по малобюджетным типовым проектам здания школ и детских учреждений), в которых используются ленточные фундаменты и непосредственно опирающиеся на них стены цокольного этажа. В таких зданиях полы подвала (техподполья) устраиваются в виде опирающихся на полку фундамента или плавающих, опирающихся на грунтовую подсыпку монолитных бетонных или пескобетонных плит толщиной от 5 до 10–15 см. Многочисленные стыки в местах примыкания плит к стенам абсолютно проницаемы для радона и почти всегда нуждаются в дополнительной герметизации, что достаточно трудоемко и дорого. При использовании такого рода конструкций всегда целесообразна расчетная проверка достаточности их радонозащитных свойств [3]. Для ее выполнения необходимы исходные данные о радиационных характеристиках грунтов, определяемые при проведении инженерных радиационных изысканий.

С позиции противорадоновой защиты безусловным преимуществом перед прочими обладают такие конструкции,

в которых вообще нет стыков между элементами и щелей, которые совпадают по своему направлению с направлением перемещения радона из грунта в здание. Отсутствие таких стыков исключает возможность конвективных поступлений радона из грунта в здание. Наилучшим образом это условие выполняется при устройстве сплошных по площади здания монолитных фундаментных плит из железобетона. Однако и такие плиты не всегда могут обеспечить требуемый уровень противорадоновой защиты. При определенных условиях бетон вследствие диффузии радона через поры и микротрещины может быть в значительной мере проницаем для радона. Плотность диффузионного потока радона, проникающего через бетонную конструкцию, зависит от толщины слоя бетона, его пористости и величины радоновой нагрузки на конструкцию.

Для количественной оценки радоновой нагрузки используют понятие величины радонового потенциала грунта Π_{Rn} (Бк/м³) [4–8], значение которого вычисляется по формуле:

$$\Pi_{Rn} = C_{Ra,gp} \cdot \rho_{gp} \cdot k_{эм,gp}, \quad (1)$$

где $C_{Ra,gp}$ – удельная активность радия-226 в грунте, Бк/кг; ρ_{gp} – плотность грунта, кг/м³; $k_{эм,gp}$ – коэффициент эманирования, представляющий отношение активности свободного, т. е. способного к миграции, радона в грунте к активности всего радона, образующегося в грунте вследствие распада присутствующего в нем радия-226.

Радоновый потенциал представляет максимально возможное в рассматриваемых условиях значение объемной активности радона в грунте в плоскости его контакта с конструкцией. В силу большой территориальной вариабельности концентрации радия в грунтах, их радоновый потенциал могут составлять от долей единиц (в зонах вечной мерз-

Таблица 1

Толщина слоя бетона h_1 , мм	$R_{1,сст}$, с/м	Толщина слоя бетона h_1 , мм	$R_{2,сст}$, с/м	
			Толщина изолирующего слоя	
			$h_2 = 3$ мм	$h_2 = 6$ мм
100	$9,38 \cdot 10^5$	100	$3,5 \cdot 10^7$	$7,57 \cdot 10^7$
150	$2,22 \cdot 10^6$	150	$4,37 \cdot 10^7$	$9,35 \cdot 10^7$
200	$4,85 \cdot 10^6$	200	$6,42 \cdot 10^7$	$1,36 \cdot 10^8$
250	$1,15 \cdot 10^7$	250	$1,17 \cdot 10^8$	$2,44 \cdot 10^8$
300	$2,59 \cdot 10^7$	300	$2,28 \cdot 10^8$	$4,75 \cdot 10^8$
350	$5,87 \cdot 10^7$	350	$4,74 \cdot 10^8$	$9,8 \cdot 10^8$
400	$1,47 \cdot 10^8$	400	$1,09 \cdot 10^9$	$2,25 \cdot 10^9$
450	$3,32 \cdot 10^8$	450	$2,36 \cdot 10^9$	$4,85 \cdot 10^9$
500	$6,86 \cdot 10^8$	500	$4,76 \cdot 10^9$	$9,75 \cdot 10^9$
550	$1,49 \cdot 10^9$	550	$1,01 \cdot 10^{10}$	$2,06 \cdot 10^{10}$
600	$3,41 \cdot 10^9$	600	$2,25 \cdot 10^{10}$	$4,59 \cdot 10^{10}$
650	$6,16 \cdot 10^9$	650	$4,06 \cdot 10^{10}$	$8,29 \cdot 10^{10}$
700	$1,11 \cdot 10^{10}$	700	$7,34 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{11}$
750	$2,01 \cdot 10^{10}$	750	$1,33 \cdot 10^{11}$	$2,71 \cdot 10^{11}$
800	$3,64 \cdot 10^{10}$	800	$2,4 \cdot 10^{11}$	$4,89 \cdot 10^{11}$
850	$6,57 \cdot 10^{10}$	850	$4,33 \cdot 10^{11}$	$8,84 \cdot 10^{11}$
900	$1,19 \cdot 10^{11}$	900	$7,82 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{12}$
950	$2,15 \cdot 10^{11}$	950	$1,41 \cdot 10^{12}$	$2,88 \cdot 10^{12}$
1000	$3,88 \cdot 10^{11}$	1000	$2,55 \cdot 10^{12}$	$5,21 \cdot 10^{12}$

лоты) до сотен (в ураноносных районах) кБк/м³. «Нормальное» значение радонового потенциала грунтов на территории Москвы составляет от 9 до 23 кБк/м³, экстремально высокое – около 100 кБк/м³.

Объемная активность радона на внутренней поверхности контактирующей с грунтом конструкции всегда на несколько порядков ниже, чем в грунте. Поэтому можно считать, что значение радонового потенциала достаточной для практики точностью выражает значение разности объемных активностей радона на наружной и внутренней поверхностях конструкции.

Для того чтобы поступления радона из грунта в здание не превышали допустимого уровня, ограждающая конструкция должна в необходимой мере препятствовать проникновению радона, т. е. обладать соответствующей нагрузке радонозащитной способностью. Мерой такой способности служит величина сопротивления радонопроницанию R , с/м, представляющая разность объемных активностей радона на поверхности конструкции (Бк/м³), при которой через конструкцию проникает поток радона плотностью 1 Бк/(м²·с). Величина, обратно пропорциональная сопротивлению радонопроницанию, т. е. плотность потока радона, который проникает через конструкцию при разности объемной активности радона на ее поверхностях, равной 1 Бк/м³, представляет коэффициент радонопроницания конструкции.

Величина R по своему физическому смыслу близка к используемой в строительной теплотехнике величине сопротивления теплопередаче конструкции. Однако отличается от нее тем, что при определении величины R учитывается распад радона внутри конструкции в процессе его переноса.

Значение сопротивления радонопроницанию однослойной конструкции вычисляется по формуле:

$$R_{1.сл} = \frac{L}{D} sh\left(\frac{h}{L}\right), \quad (2)$$

двуслойной конструкции – по формуле:

$$R_{2.сл} = ch\left(\frac{h_1}{L_1}\right) sh\left(\frac{h_2}{L_2}\right) \frac{L_2}{D_2} + sh\left(\frac{h_1}{L_1}\right) ch\left(\frac{h_2}{L_2}\right) \frac{L_1}{D_1}, \quad (3)$$

где h – толщина слоя материала в конструкции, м; D – коэффициент диффузии радона в материале слоя, м²/с; $L = \sqrt{D/\lambda_{Rn}}$ – длина диффузии радона в материале слоя, м; λ_{Rn} – постоянная распада радона ($2,0974 \cdot 10^{-6}$ с⁻¹).

В правой части формулы (3) подстрочные индексы «1» и «2» соответствуют 1-му и 2-му слоям конструкции. Значение величины $R_{2.сл}$ от порядка расположения слоев в конструкции практически не зависит.

По мере увеличения числа слоев разнородных материалов в конструкции формулы вида (3) становятся все более громоздкими. Однако их применение не имеет практического смысла, так как радонозащитная способность современных заглубленных конструкций, как правило, определяется свойствами одного или двух наименее проницаемых слоев, прежде всего слоя бетона и гидрогазоизолирующего слоя. Присутствие в конструкции таких элементов, как подготовка из тощего бетона, выравнивающие и защитные слои, песчаная подсыпка и т. п., существенного влияния на рассматриваемые свойства конструкции не оказывает и поэтому может не учитываться.

Приближенно (с незначительным занижением определяемой величины) сопротивление радонопроницанию конструкции с количеством расчетных слоев более двух можно рассчитать как сумму сопротивлений отдельных слоев, определяемых по формуле (2).

При рассмотрении вариантов проекта заглубленной части здания независимо от уровня радоновой нагрузки по

Таблица 2

Толщина слоя бетона h , мм	ρ	Толщина слоя бетона h_1 , мм	ρ	
			Толщина изолирующего слоя	
			$h_2 = 3$ мм	$h_2 = 6$ мм
100	$1 \cdot 10^0$	100	$3,7 \cdot 10^1$	$8,1 \cdot 10^1$
150	$2,4 \cdot 10^0$	150	$4,7 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^2$
200	$5,2 \cdot 10^0$	200	$6,8 \cdot 10^1$	$1,4 \cdot 10^2$
250	$1,2 \cdot 10^1$	250	$1,2 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$
300	$2,8 \cdot 10^1$	300	$2,4 \cdot 10^2$	$5,1 \cdot 10^2$
350	$6,3 \cdot 10^1$	350	$5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$
400	$1,6 \cdot 10^2$	400	$1,2 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$
450	$3,5 \cdot 10^2$	450	$2,5 \cdot 10^3$	$5,2 \cdot 10^3$
500	$7,3 \cdot 10^2$	500	$5,1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$
550	$1,6 \cdot 10^3$	550	$1,1 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$
600	$3,6 \cdot 10^3$	600	$2,4 \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^4$
650	$6,6 \cdot 10^3$	650	$4,3 \cdot 10^4$	$8,8 \cdot 10^4$
700	$1,2 \cdot 10^4$	700	$7,8 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^5$
750	$2,1 \cdot 10^4$	750	$1,4 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^5$
800	$3,9 \cdot 10^4$	800	$2,6 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$
850	$7 \cdot 10^4$	850	$4,6 \cdot 10^5$	$9,4 \cdot 10^5$
900	$1,3 \cdot 10^5$	900	$8,3 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^6$
950	$2,3 \cdot 10^5$	950	$1,5 \cdot 10^6$	$3,1 \cdot 10^6$
1000	$4,1 \cdot 10^5$	1000	$2,7 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^6$

лезно знать, как изменяется сопротивление радонопроницанию конструкции в зависимости от принятия того или иного решения. Кроме того, располагая данными о радоновом потенциале грунта и сопротивлении радонопроницанию конструкции, по формуле:

$$Q_{Rn} = 1000 \cdot \frac{\Pi_{Rn}}{R} \quad (4)$$

можно приблизительно определить значение плотности потока радона (мБк/ (м²·с), проникающего из грунта в здание.

В табл. 1 приведены значения сопротивления радонопроницанию однослойной и двуслойной бетонных конструкций различной толщины и их сочетаний с гидрогазоизолирующими слоями из часто применяемых рулонных материалов на битумно-полимерной основе типа Техноэласт, Гидростеклоизол, Филлизол, Бикрост и т. п. Приведенные в табл. 1 данные рассчитаны с использованием характерных для рассматриваемых материалов значений объемных коэффициентов диффузии радона: для бетона – от $1,1 \cdot 10^{-7}$ до $1,5 \cdot 10^{-8}$ м²/с; для изоляционного материала – $1 \cdot 10^{-10}$ м²/с [9, 10].

Для сравнительной оценки радонозащитной способности показанных в табл. 1 конструкций, в табл. 2. приведены значения отношений (p) их сопротивления радонопроницанию ($R_{1.сл}$ и $R_{2.сл}$) к сопротивлению слоя бетона толщиной 100 мм.

Из табл. 2 видно, что сопротивление различных конструкций в зависимости от их состава может отличаться в миллионы раз. Так, сопротивление слоя бетона при увеличении его толщины от 100 до 400 мм возрастает в 160 раз, а до толщины 600 мм – в 3600 раз. Сопротивление бетонной плиты толщиной 850 мм со слоем изолирующего материала 6 мм почти в миллион раз выше, чем плиты толщиной 100 мм без изолирующего слоя.

Если принять условие, что конструкция, которая при максимально возможной радоновой нагрузке пропускает ничтожно малый поток радона (<1 мБк/(м²·с)), квалифицируется как практически радононепроницаемая, то, используя формулу (4), можно установить, что в условиях Москвы радононепроницаемыми являются все конструкции с сопротивлением радонопроницанию более 10^8 с/м (часть табл. 1, выделенная темным тоном). Из этого следует, что если изначально и безотносительно к вопросу о радонобезопасности при разработке проекта здания предполагается устройство фундамента, например, в виде сплошной монолитной железобетонной плиты толщиной 400 мм и более, то тратить усилия и средства на осуществляемую сегодня в обязательном порядке оценку потенциальной радоноопасности участка застройки при проведении инженерных радиационных изысканий совершенно не имеет смысла. Учет изложенных выше соображений позволит по самой скромной оценке снизить в масштабе Москвы стоимость строительства на десятки миллионов рублей в год.

Список литературы

1. Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Киселев С.М. Современные подходы к нормированию облучения радоном и анализ последствий их применения в России // *АНРИ*. 2011. № 4. С. 18–25.
2. Жуковский М.В., Васильев А.В. Определение механизмов и параметров поступления радона в помещение // *АНРИ*. 2012. № 1. С. 5–14.
3. Гулабянц Л.А. Определение требуемой радонозащитной способности подземных ограждающих конструкций зданий // *Жилищное строительство*. 2009. № 7. С. 34–38.
4. Гулабянц Л.А. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. Ч. 1 // *Жилищное строительство*. 2012. № 2. С. 28–31.
5. Гулабянц Л.А. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. Ч. 2 // *Жилищное строительство*. 2012. № 3. С. 27–31.
6. Гулабянц Л.А. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. Ч. 3 // *Жилищное строительство*. 2012. № 5. С. 28–32.
7. Гулабянц Л.А. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. Ч. 4 // *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 82–85.
8. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Климшин А.В., Смирнова А.П. Картирование геогенного радонового потенциала (на примере территории Москвы) // *АНРИ*. 2015. № 1. С. 2–13.
9. Гулабянц Л.А., Цапалов А.А. Радонопроницаемость рулонного материала Техноэласт // *Строительные материалы*. 2008. № 10. С. 69–71.
10. Гулабянц Л.А., Цапалов А.А. Радонопроницаемость тяжелого бетона // *Жилищное строительство*. 2011. № 1. С. 39–41.

References

1. Zhukovskiy M.V., Yarmoshenko I.V., Kiselev S.M. Modern approaches to rationing of radon exposure and analysis of the consequences of their application in Russia. *ANRI*. 2011. No. 4, pp. 18–25. (In Russian).
2. Zhukovskiy M.V., Vasil'ev A.V. Defining mechanisms and parameters of radon in the room. *ANRI*. 2012. No. 1, pp. 5–14. (In Russian).
3. Gulabyants L.A. Determination of required radon protective capacity of underground enclosing structures of buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2009. No. 7, pp. 34–38. (In Russian).
4. Gulabyants L.A. Anti-Radon Protection of Residential and Public Buildings (Manual for designing, a draft). Part I. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 2, pp. 28–31. (In Russian).
5. Gulabyants L.A. Anti-Radon Protection of Residential and Public Buildings (Manual for designing, a draft). Part II. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 3, pp. 27–31. (In Russian).
6. Gulabyants L.A. Anti-Radon Protection of Residential and Public Buildings (Manual for designing, a draft). Part III. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 5, pp. 28–32. (In Russian).
7. Gulabyants L.A. Anti-Radon Protection of Residential and Public Buildings (Manual for designing, a draft). Part IV. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 6, pp. 82–85. (In Russian).
8. Miklyaev P.S., Petrova T.B., Klimshin A.V., Smirnova A.P. Mapping geogenic radon potential (for example, in Moscow). *ANRI*. 2015. No. 1, pp. 2–13. (In Russian).
9. Gulabyants L.A., Tsapalov A.A. Radon permeability of rolled material of Tekhnoelast. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 10, pp. 69–71. (In Russian).
10. Gulabyants L.A., Tsapalov A.A. Radon permeability of heavy concrete. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 1, pp. 39–41. (In Russian).

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



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

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

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



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

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

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

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

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

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

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



ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

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

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

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

ВНИМАНИЕ! С 1 января 2014 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!

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

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

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

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



Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://rifsm.ru/page/7/>

BATIMAT, INTERCLIMA+ELEC и IDEOBAIN –

международные выставки 2015 года – воплощение инновационных технологий и практических решений для развития бизнеса

Со **2 по 6 ноября 2015 года** три флагманские выставки международной строительной индустрии - BATIMAT, INTERCLIMA+ELEC и IDEOBAIN состоятся одновременно в Париже в выставочном центре Норд Вилльпент, образуя всемирную **Парижскую Строительную Неделю – Mondial du Bâtiment**¹. Это самая многогранная демонстрационная площадка, где представлены передовые технологические решения, оборудование и материалы для строительства и архитектуры.

Ожидая более 2600 французских и иностранных экспонентов и свыше 350 000 визитеров, три выставки - BATIMAT, INTERCLIMA+ELEC и IDEOBAIN, впервые состоявшиеся вместе в 2013 году, заслуженно обретают новое имя — **Парижская Строительная Неделя** и подтверждают статус ведущего международного отраслевого события в области строительства и архитектуры. Сессия 2015 года – универсальная платформа для развития бизнеса, налаживания прямых контактов между экспонентами и посетителями из Франции и всего мира.

1. УНИКАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА – ИСЧЕРПЫВАЮЩЕЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ

Парижская Строительная Неделя 2015 всецело представляет строительный процесс:

>>> **BATIMAT:** строительство, столярное дело & окна, внутренняя и внешняя отделка, оснащение строительной площадки & инструменты, транспортные средства & оборудование, IT & новые технологии, сопутствующие услуги

>>> **INTERCLIMA+ELEC:** отопительные системы и горячее водоснабжение; кондиционирование воздуха; системы охлаждения & вентиляции; инженерные системы и электрооборудование; насосы, краны и фитинги; монтажное оборудование и технологии; оборудование и решения для «многого» дома/здания

>>> **IDEOBAIN:** сантехника; гидромассажные ванны, различные насадки для душа, материалы для отделки ванной комнаты, интерьеры ванной комнаты: мебель, свет, аксессуары, ковры и текстиль

2. УНИКАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА – ГЕНЕРАТОР ИННОВАЦИЙ

96% экспонентов и 99% посетителей отметили инновации как основную цель участия в выставке. Парижская Строительная Неделя не только отражает текущий отраслевой срез, но и демонстрирует инновационные решения будущего, тенденции и передовые разработки, которые придут в отрасль в ближайшее время, что делает выставку действительно инновационным событием в строительной индустрии и архитектуре.

Особенная роль отводится Премии за инновации (Innovation Awards), которая присуждается победителям Конкурса Инноваций, организуемого выставкой. Данный Конкурс представляет перспективные технические новинки и является эффективным средством их продвижения на рынке.

Два нововведения, связанных с Премией инноваций:

>>> **Церемония награждения** состоится за **6 недель до открытия выставки**, 24 сентября 2015 г. Таким образом, победители получают больше времени на презентацию своих новинок будущим посетителям выставки и смогут войти в обзор перспективных трендов развития отрасли, которые будут представлены на Парижской Строительной неделе.

>>> **Инновационные Башни:** во время проведения выставки в центре каждого Павильона будут установлены 7-метровые Башни с целью наилучшей презентации инновационной продукции номинантов и победителей Конкурса. На экранах (3x4 метра), расположенных на каждой из 4 сторон этих гигантских сооружений, будут демонстрироваться рекламные ролики, представляющие продукцию экспонентов именно той специальности, которая представлена в данном Павильоне выставки.

3. УНИКАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА – ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ И ОБУЧАЮЩИЙ РЕСУРС

Выставка является важным информационным ресурсом для профессионалов, при этом, одним из основных источников актуальной информации служит программа мероприятий, в рамках которой обсуждаются текущие и будущие тенденции в строительстве и архитектуре. Деловая программа сессии 2015 года состоит из 200 тематических конференций, круглых столов, посвященных «горячим» отраслевым вопросам:

>>> **В центре внимания Премия за инновации:**

Кто может принять участие: Экспоненты и со-экспоненты трех выставок: Batimat, Interclima+elec и Ideobain

Каковы критерии отбора? продукция/технологии должны быть не старше 2 последних лет (отсчет ведется с ноября 2013 г.)

Сроки регистрации: с 25 марта по 5 июня 2015 г.

Правила регистрации: заполнение он-лайн формы, размещенной на сайте соответствующей выставки в разделе для экспонентов

Когда и где будут объявлены результаты? На Церемонии награждения, которая состоится 24 сентября 2015 г.

>>> **Цифровые технологии в строительстве: BIM** – информационное моделирование зданий (Building Information Modeling) — информационное моделирование здания (от проектирования до эксплуатации, технологии, инструменты, обучение), 3D печать, «умные» сети электроснабжения - smart grids...

>>> **Энергоэффективность:** инновации, регламенты, обучение

>>> **От автономных зданий к агрегированным городам:** домашняя автоматика, технологии «умных домов» и «умных городов» (включая программы для эко-эффективных городов)

>>> **Дома и люди:** страховые услуги, социальная защищенность, безопасность работ, риски, эргономичный дизайн

В каждом Павильоне выставки будет создана специальная зона Форум, где и будут проходить тематические мероприятия, ориентированные на раздел экспозиции, размещенный в этом секторе.

Получение знаний и передача опыта – одна из стратегических задач современной строительной индустрии, и Парижская Строительная Неделя внесет свой вклад в ее решение через проведение ряда семинаров, демонстраций и обучающих мастер-классов.

>>> Демонстрационные зоны дадут возможность экспонентам наглядно представить посетителям выставки новую продукцию, решения и услуги.

>>> **ModesdeBains** – раздел, расположенный в Павильоне 4, представит тенденции, новые методы инсталляций и технические разработки, созданные в соответствии с самыми современными нормами и требованиями по оснащению ванных комнат.

>>> **Здание будущего** – это информационное пространство разместится в Павильоне 3 и будет специально спроектировано для демонстрации реальных практических решений (или их прототипов), которые определяют стандарты в строительстве завтрашнего дня. Например, здесь посетители увидят и смогут опробовать новые средства проектирования (цифровое моделирование и 3D печать), интегрированные решения для проектирования и управления, новые способы индустриализации строительных работ (3D печать, экзоскелеты, монтаж сборных конструкций) и др.

4. УНИКАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА – РАЗВИТИЕ БИЗНЕСА

В этом году почетным гостем Парижской Строительной недели станут страны Тропической Африки – части африканского континента, находящейся к югу от пустыни Сахара, многообещающего и перспективного региона с точки зрения инвестиций и бизнес интеграции.

В этом году экспоненты и посетители смогут оценить **привлекательность и разнообразные возможности этого масштабного континента**, имеющего серьезные текущие социально-экономические проблемы, требующие быстрого разрешения. Рост численности населения, необходимость развития инфраструктуры и создания транспортных путей способствует увеличению количества строительных проектов.

Встречи с архитекторами, девелоперами, предпринимателями, а также - президентами Ассоциаций и представителями министерств и других государственных организаций из таких стран, как Сенегал, Кот-д'Ивуар, Камерун, Габон и Нигерия **станут залогом новых успешных проектов.**

BATIMAT

Все для успешного строительства



**СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ
ЗАКАЖИТЕ СВОЙ БЕСПЛАТНЫЙ БАДЖ*
НА САЙТЕ WWW.BATIMAT.COM - КОД: PAR9UNHFY**

*стоимость входного билета на выставке при отсутствии электронного баджа: 65€

BATIMAT le
IDÉOBAIN mondial
INTERCLIMA+ELEC du bâtiment