



ISSN 0044-4472

7'2016

# ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

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

издается с 1958 г.



**Тепловая защита зданий —  
составная часть комплексного энергосбережения**



# 100+ FORUM RUSSIA

Международный форум  
высотного и уникального  
строительства



**5-7 октября 2016**  
МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»

тел.: +7 (343) 35-111-78  
e-mail: info@forum-100.ru

**ОБМЕН ОПЫТОМ. НОВЫЕ ДЕЛОВЫЕ КОНТАКТЫ  
РОССИЙСКИЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ЭКСПЕРТЫ**

УЧАСТИЕ В ФОРУМЕ БЕСПЛАТНОЕ. ОТКРЫТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ  
[www.forum-100.ru](http://www.forum-100.ru)

#### + ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ ДЕЛОВОЙ ПРОГРАММЫ

- + Проектирование высотных зданий и уникальных сооружений
- + Современный урбанизм: тенденции создания комфортного города
- + Освоение подземного пространства мегаполисов
- + Инновации в высотном и уникальном строительстве
- + Мосты и большепролетные сооружения
- + Инженерные системы высотных и уникальных сооружений

При поддержке Минстроя России  
Партнер деловой программы - газета "Ведомости»

## Крым Стройиндустрия Энергосбережение

**МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА**

- Современные строительные материалы и технологии.
- Краски, лаки.
- Строительные машины и механизмы.
- Окна, двери. • Сантехника.
- Экология. Системы очистки воды.
- Системы отопления, вентиляции и кондиционирования.
- Электротехническое и осветительное оборудование.
- Энергосбережение и использование нетрадиционных экологически чистых источников энергии.
- Системы автоматизации. Программное обеспечение предприятий строительной, энергетической, электротехнической отраслей промышленности.

# 2016 Осень

**27-29 октября**

г. Симферополь,  
ул. Киевская, 115,  
ДКП

Оргкомитет:  
Республика Крым,  
г. Симферополь,  
ул. Горького, 8, оф. 27,  
моб.: +7 978 78 178 83,  
тел./факс: +7(3652) 54-60-66,  
+7(3652) 54-67-46,  
E-mail:  
[marketing@expoforum.biz](mailto:marketing@expoforum.biz),  
<http://expoforum.biz/>

 **ФОРУМ**  
КРЫМСКИЕ  
ВЫСТАВКИ

Учредитель журнала  
АО «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  
№ ФС77-64906

### Главный редактор

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

### Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

### Авторы

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

### Редакция

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

### Перепечатка

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

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

# ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с 1958 г.

7'2016

## Доклады VII Академических чтений

### «Актуальные вопросы строительной физики»

С.И. КРЫШОВ, И.С. КУРИЛЮК Проблемы экспертной оценки тепловой защиты зданий . . . . .	3
Д.В. КРАЙНОВ Относительное энергосбережение при изменении уровня тепловой защиты зданий . . . . .	6
А.Ю. НЕКЛЮДОВ Расчет характеристик энергопотребления здания при определении трансмиссионных тепловых потерь . . . . .	11
А.А. КОЧКИН, И.Л. ШУБИН, Н.А. КОЧКИН Расчет колебательной скорости и излучаемой мощности элементов конечных размеров в условиях различных резонансов . . . . .	15
Т.А. КОРНИЛОВ, Г.Н. ГЕРАСИМОВ Наружные стены малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкций для условий Крайнего Севера . . . . .	20
Н.И. КАРПЕНКО, В.Н. ЯРМАКОВСКИЙ К нормированию физико-механических характеристик высокопрочных легких бетонов и методам расчета конструкций из них . . . . .	25
Е.Г. СЛОБОДЧИКОВ, А.Е. МЕСТНИКОВ Энергоэффективность индивидуальных домов на основе пенобетона в условиях Якутии . . . . .	29
А.А. ЦАРЕВ Параметры комфорта жилой среды на примере мультикомфортного здания «Академия Сен-Гобен» . . . . .	33
ЧЖАО ЦЗИНЬЛИН, ЛИ ЦЗЕ, ЛЮЙ ЛЯНЬИ Влияние региональных различий на проектирование зданий в холодной климатической зоне КНР . . . . .	38
П.Д. АРЛЕНИНОВ, С.Б. КРЫЛОВ Построение расчетной модели автомобильного пандуса на основе обследования и натурного испытания . . . . .	43
И.А. ШМАРОВ, В.А. ЗЕМЦОВ, Е.В. КОРКИНА Инсоляция: практика нормирования и расчета . . . . .	48
М.А. ПОРОЖЕНКО, Н.А. МИНАЕВА, В.Н. СУХОВ Оценка изоляции воздушного шума стеной с гибкой плитой на относе . . . . .	54
Д.Б. ФРОГ, Е.Н. ЖИРОВ Новое в нормировании отрасли «водоснабжение и канализация». Актуализация сводов правил . . . . .	57

**Founder of the journal**

AO «TSNIEP zhilishcha»

Monthly scientific-technical  
and industrial journal

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

**ZHILISHCHNOE**  
**STROITEL'STVO**

Published since 1958

**7'2016**

**Editor-in-chief**

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

**Editorial Board:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**The authors**

of published materials are responsible  
for the accuracy of the submitted infor-  
mation, 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, promo-  
tional and illustrative materials are  
possible only with the written permis-  
sion of the editor-in-chief.

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

**Reports of the VII Academic reading «Actual issues of building physics»**

S.I. KRYSHOV, I.S. KURILYUK Problems of Expert Assessment of Heat Protection of Buildings . . . . .	3
D.V. KRAYNOV Relative Energy Saving When Changing the Level of Thermal Protection of Buildings . . . . .	6
A.Yu. NEKLYUDOV Calculation of Characteristics of Power Consumption of a Building When Determining Transmission Heat Loss . . . . .	11
A.A. KOCHKIN, I.L. SHUBIN, N.A. KOCHKIN Calculation of Vibration Speed and Emitted Power of Elements of Finite Sizes under Conditions of Various Resonances . . . . .	15
T.A. KORNILOV, G.N. GERASIMOV External Walls of Low-Rise Houses Made of Light Steel Thin-Walled Structures for the Far North Conditions . . . . .	20
N.I. KARPENKO, V.N. YARMAKOVSKIY To the Standardization of Physical-Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Aggregate Concrete and to the Calculation Methods of Structures Made of them . . . . .	25
E.G. SLOBODCHIKOV, A.E. MESTNIKOV Energy Efficiency of Individual Houses on the Basis of Foam Concrete in Conditions of Yakutia . . . . .	29
A.A. TSAREV ?????????? The Parameters of Comfort Living Environment on the Example of Multi-Comfort Building «Academy of Saint-Gobain» . . . . .	33
ZHAO JINLING, LI JIE, LV LIANYI The impact of regional differences on the building designs of the cold climate in China . . . . .	38
P.D. ARLENINOV, S.B. KRYLOV Construction of a Calculation Model of a Car Ramp on the Basis of Inspection and Field Test . . . . .	43
I.A. SHMAROV, V.A. ZEMTSOV, E.V. KORKINA Insulation: Practice of Regulation and Calculation . . . . .	48
M.A. POROZHENKO, N.A. MINAEVA, V.N. SUKHOV Assessment of Airborne Sound Insulation with a Wall with a Flexible Plate to Apply . . . . .	54
D.B. FROG, E.N. ZHIROV New in Regulation in the Field of "Water Supply and Sewerage". Actualization of Codes of Practice . . . . .	57



УДК

С.И. КРЫШОВ, канд. техн. наук (skryshov@yandex.ru),  
И.С. КУРИЛЮК, инженер-строитель (ivan\_teplo@rambler.ru)

«Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве» (ГБУ «ЦЭИИС») (119192, г. Москва, ул. Винницкая, 8, стр. 1)

## Проблемы экспертной оценки тепловой защиты зданий

*Приведены статистические данные экспериментальной оценки сопротивления теплопередаче строительных конструкций более ста современных зданий в натуральных условиях. Обозначены противоречия в нормативно-правовых актах, проектной и нормативной документации. Из приведенной статистики испытаний проекту и нормативным требованиям не соответствуют 99% панельных стен и более 90% стен с вентилируемым фасадом (при нормативном значении приведенного сопротивления теплопередаче стен 3,13 м<sup>2</sup>·°С/Вт). Первопричиной несоответствия заявленных в проектах теплотехнических показателей стен, покрытий и других несветопрозрачных ограждений с результатами испытаний является методика расчета действовавшего до 1 июля 2015 г. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», приводящая к завышению теплотехнических показателей. Перерасчет энергетических паспортов зданий с использованием измеренных ГБУ «ЦЭИИС» теплотехнических показателей показывает, что удельное энергопотребление вводимых в эксплуатацию многоэтажных жилых домов будет в 1,5–2 раза выше проектных значений. Для реального прогресса в области энергосбережения необходимо незамедлительное приведение в соответствие проектирования с требованиями и методами расчета теплозащитных характеристик зданий СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23.02.2003».*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, сопротивление теплопередаче, ограждающие конструкции, строительный контроль.

S.I. KRYSHOV, Candidate of Sciences (Engineering) (skryshov@yandex.ru), I.S. KURILYUK, Engineer-Builder, (ivan\_teplo@rambler.ru)  
The Centre of Expertise, Research and Testing in Construction (GBU "TsEiIS") (8, structure 1, Vinnitskaya Street, 119192, Moscow, Russian Federation)

### Problems of Expert Assessment of Heat Protection of Buildings

Statistical data on the experimental assessment of resistance to heat transfer of building structures of over 100 modern buildings under natural conditions are presented. Contradictions in normative-legislative acts, design and normative documentation are indicated. Based on the statistics of tests, 99% of panel walls and over 90% of walls with ventilated facades don't conform to the design and normative requirements (at normative value of reduced resistance of walls to heat transfer – 3,13 m<sup>2</sup>·°C/Вт). The root cause of the non-conformance of thermal-technical indicators of walls, coatings, and other non-translucent enclosing structures stated in designs to the test results is a methodology of calculation of SNiP 23-02-2003 "Heat Protection of Buildings" which was in force till July 01, 2015, leading to the overvaluation of thermal-technical indicators. The recalculation of technical passports of buildings with the use of thermal-technical indicators measured by GBU «TsEiIS» shows that the specific energy consumption of commissioned multistory buildings is higher than design values by 1.5–2 times. For the real progress in the field of energy saving it is necessary to immediately harmonize the designing with requirements and methods of calculation of thermal-technical characteristics of buildings of SP 50.13330.2012 "Heat Protection of Buildings. Actualized Edition of SNiP 23.02.2003".

**Keywords:** energy efficiency, resistance to heat transfer, enclosing structures, construction control.

Политика в области энергосбережения, реализуемая в нормативных документах в строительстве, насчитывает уже не одно десятилетие, однако существуют многие нерешенные вопросы и проблемы [1].

В проектной документации требования к теплозащитной оболочке зданий приводятся в обязательном разделе «Энергоэффективность». Основные теплотехнические показатели, отражающие теплозащитные свойства здания – это приведенные сопротивления теплопередаче наружных ограждений и кратность воздухообмена помещений.

С использованием указанных характеристик можно расчетным путем определить удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию; результаты расчета составляют энергетический паспорт здания.

Удельное потребление – это отношение потребленной тепловой энергии зданием в отопительный период года к общей площади (или отапливаемому объему) здания. Снижение этого показателя в долгосрочной перспективе – основная цель политики энергосбережения.

Органам Стройнадзора поручено присваивать класс энергетической эффективности многоэтажным жилым зданиям по данным расчетов или экспериментальных обследований перед вводом в эксплуатацию.

В период до 2013 г. источниками информации по экспериментальной оценке теплозащитных свойств ограждений строящихся зданий являлись заключения независимых организаций, аккредитованных в этой области.

Проектирование теплозащиты зданий до 1 июля 2015 г. регламентировалось СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». С 1 июля введена в действие новая, актуализированная редакция СНиП (СП 50.13330.2012).

В актуализированной редакции СНиП сохранены нормы предшествовавшего документа, но изменена методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен.

По нормам СНиП 23-02-2003 для Москвы и области сопротивление теплопередаче стен многоэтажных жилых домов должно быть не менее 3,13 м<sup>2</sup>·°С/Вт.

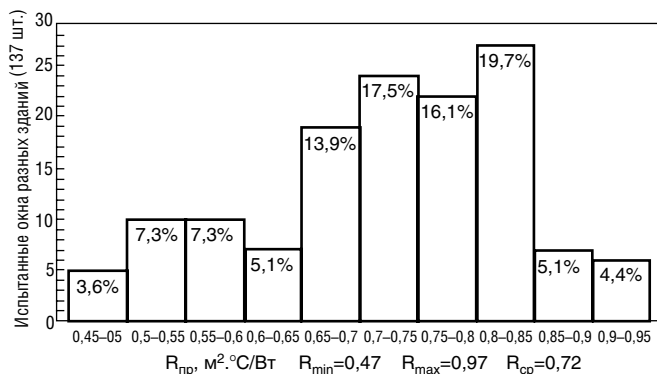


Рис. 1. Статистика испытаний оконных блоков для 54 жилых домов

Если удельный расход тепловой энергии на отопление меньше нормируемого значения, то допускается уменьшение сопротивления теплопередаче стен. Минимально допустимое значение получают умножением нормируемого значения (3,13 м<sup>2</sup>·°С/Вт) на коэффициент 0,63 (1,97 м<sup>2</sup>·°С/Вт). Но в соответствии с решениями, принятыми в Москве, требуемое значение сопротивления теплопередаче должно составлять не менее 3,5.

В 2013–2016 гг. ГБУ «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве», организованный при Мосгосстройнадзоре, в рамках строительного надзора проводил комплексные теплотехнические испытания наружных ограждений жилых и общественных зданий.

Цель обследований – экспериментальная оценка соответствия проекту и нормативным требованиям заявленных в разделе «Энергоэффективность» теплотехнических характеристик.

Накоплена большая статистика испытаний на 115 объектах, охватывающих все применяемые в современном строительстве конструктивные решения наружных ограждений.

Измерения сопротивлений теплопередаче светопрозрачных конструкций показали хорошее совпадение измеренных и расчетных (проектных) показателей (рис. 1).

Для стен, покрытий и других несветопрозрачных конструкций выявлены значительные расхождения между проектными и фактическими показателями. Измеренные значения сопротивления теплопередаче оказались меньше заявленных в проектах: для стен – в 1,5–2 раза; для покрытий, чердачных и эркерных перекрытий, перекрытий над проездами, стен и полов подвалов – в 2–3 раза.

Большинство стеновых конструкций по результатам испытаний имеет приведенное сопротивление теплопередаче в интервале от 1,5 до 2,5 м<sup>2</sup>·°С/Вт (рис. 2, 3).

По методике СНиП 23-02-2003 приведенное сопротивление теплопередаче рассчитывается как сумма сопротивлений слоев, составляющих конструкцию, с последующим умножением на коэффициент теплотехнической однородности, принимаемый в интервале от 0,7 (панельные стены) до 0,95 (стены с вентилируемым фасадом, совмещенные покрытия).

В актуализированной редакции СП 50.13330.2012 используется более детальный учет теплотехнически неоднородных участков наружных ограждений. Подход этот можно назвать «двумерным» в сравнении с «одномерным» в предшествующей редакции СНиП 23-02-2003.

Для 22 обследованных зданий сотрудниками ГБУ «ЦЭИИС» выполнены расчеты приведенных сопротивлений теплопередаче стен по методике актуализированной ре-

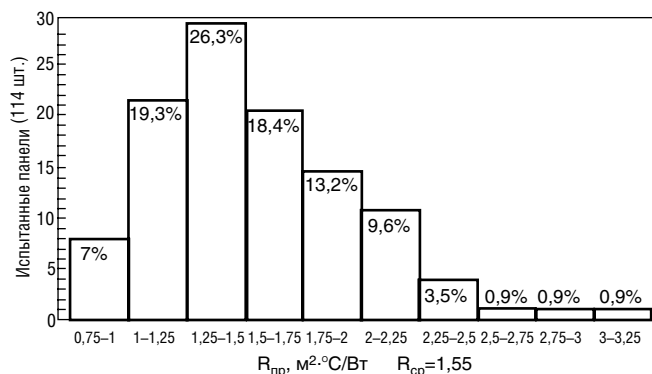


Рис. 2. Статистика испытаний стеновых панелей для 30 жилых домов

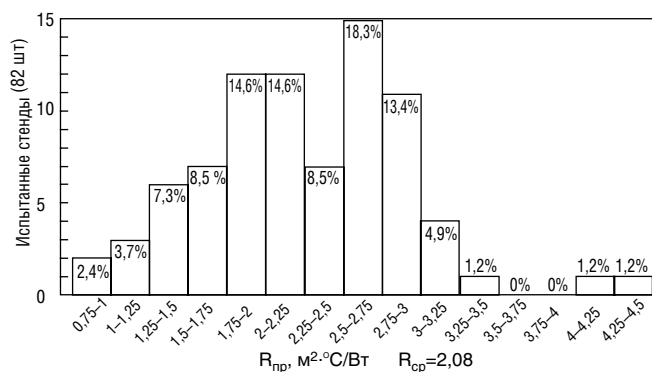


Рис. 3. Характеристики стен 16 жилых домов с вентилируемым фасадом

дакции СП 50.13330.2012. Сравнение экспериментальных и расчетных результатов показало, что расхождения измеренных и рассчитанных приведенных сопротивлений теплопередаче стен находятся в интервале погрешностей измерений (10–15%).

Таким образом, первопричиной несоответствия заявленных в проектах теплотехнических показателей стен, покрытий и других несветопрозрачных ограждений с результатами испытаний ГБУ «ЦЭИИС» является методика расчета по СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

Перерасчет энергетических паспортов зданий с использованием измеренных ГБУ «ЦЭИИС» теплотехнических показателей показывает, что удельное энергопотребление вводимых в эксплуатацию многоэтажных жилых домов будет в 1,5–2 раза выше проектных значений [2].

В настоящее время сложилась парадоксальная ситуация. До 1 июля 2015 г. по данным проектов, экспертиз и обследований независимыми организациями приведенное сопротивление теплопередаче стен зданий имело значения 3,13–3,5 м<sup>2</sup>·°С/Вт, а с переходом на новые нормы эти же конструкции при расчете по СП 50.13330.2012 характеризуются показателями 1,3–2,5 м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Испытания ГБУ «ЦЭИИС», проводимые с 2013 г., подтверждают объективность расчетных показателей по СП 50.13330.2012 [3–5].

Массовое несоответствие показателей удельного энергопотребления требованиям норм и проектной документации вводимых в эксплуатацию зданий ведет к весьма негативным последствиям.

Во-первых, проектирование систем отопления зданий, основывающееся на завышенных теплосащитных харак-



теристиках наружных ограждений, не обеспечит необходимой мощности систем в моменты пиковых нагрузок и может привести к отказам тепловых и электрических сетей в наиболее холодные периоды года. Это вопрос энергетической безопасности городской застройки.

Во-вторых, органы строительного надзора не должны допускать к вводу в эксплуатацию здания, не соответствующие требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащённости их приборами учета используемых энергетических ресурсов. Из приведенной статистики испытаний (рис. 2, 3) проекту и нормативным требованиям не соответствуют 99% панельных стен и более 90% стен с вентфасадом (при нормативном значении приведенного сопротивления теплопередаче стен  $3,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ).

В-третьих, в массовом порядке уже в процессе эксплуатации выясняется, что заявленные в проектах, подтвержденные экспертизой и органами стройнадзора классы энергетической эффективности жилых домов не соответствуют реальному энергопотреблению. Это может быть причиной массовых судебных исков граждан к застройщикам.

Для реального прогресса в области энергосбережения необходима незамедлительная разработка и реализация комплекса мер по приведению в соответствие нормативной базы с реальным положением дел. Эта задача выходит далеко за рамки деятельности строительного надзора и должна решаться на государственном уровне [6, 7].

#### Список литературы

1. Васильев Г.П. Одна из главных проблем энергоэффективности – отсутствие контроля качества строительства // *Энергосбережение*. 2014. № 6. С. 10–12.
2. Гашо Е.Г., Пузаков В.С., Степанова М.В. Резервы и приоритеты теплоэнергоснабжения российских городов в современных условиях // *Материалы открытого семинара «Анализ и прогноз развития отраслей топливно-энергетического комплекса»*. 26 мая 2015 г. ИНП РАН. С. 26–28.
3. Крышов С.И., Курилюк И.С. Опыт ГБУ «ЦЭИИС» по экспериментальной оценке эффективности энергосберегающих мероприятий в жилых и общественных зданиях // *Материалы открытого семинара «Анализ и прогноз развития отраслей топливно-энергетического комплекса»*. 26 сентября 2015 г. ИНП РАН. С. 20–39.
4. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
5. Сурсанов Д.Н., Пономарев А.Б. Определение приведенного сопротивления теплопередаче самонесущей стеновой панели // *Вестник ПНИПУ*. 2015. № 4. С. 144–165.
6. Кравчук А.Н. Контроль энергоэффективности при осуществлении государственного строительного надзора // *Сантехника. Отопление. Кондиционирование*. 2015. № 8. С. 62–65.
7. Антосенко О.Д. Соблюдение параметров энергоэффективности при осуществлении государственного строительного надзора в Москве // *Региональная энергетика и энергосбережение*. 2015. № 4. С. 80–81. <http://energy.s-kon.ru/wp-content/uploads/2015/09/Antosenko.pdf>

#### References

1. Vasiliev G.P. One of the main problems of energy efficiency – the lack of construction quality control. *Energoberezhnie*. 2014. No. 6, pp. 10–12. (In Russian).
2. Gasho E.G., Puzakov V.S., Stepanova M.V. Reserves and priorities heat and power supply of Russian cities in modern conditions. *Proceedings of the open workshop «Analysis and forecast of development of industries of fuel and energy complex»*. May 26, 2015. IEF RAS, pp. 26–28. (In Russian).
3. Kryshov S.I., Kurilyuk I.S. Experience GBU «CEIS» in the experimental evaluation of the effectiveness of energy saving measures in residential and public buildings. *Proceedings of the open workshop «Analysis and forecast of development of industries of fuel and energy complex»*. September 26, 2015. IEF RAS, pp. 20–39. (In Russian).
4. 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).
5. Sursanov D.N., Ponomarev A.B. Determination of the reduced thermal resistance of the self-supporting wall panels. *Vestnik PNIPU*. 2015. No. 4, pp. 144–165. (In Russian).
6. Kravchuk A.N. Control of energy efficiency in the implementation of the state construction supervision. *San tekhnika. Otoplenie. Konditsionirovanie*. 2015. No. 8, pp. 62–65. (In Russian).
7. Antosenko O.D. Compliance with energy efficiency requirements in the exercise of state supervision of construction in Moscow *Regional'naya energetika i energoberezhnie*. 2015. No. 4, pp. 80–81. <http://energy.s-kon.ru/wp-content/uploads/2015/09/Antosenko.pdf> (In Russian).

XVIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
**ОСЕННИЙ**  
**СТРОИТЕЛЬНЫЙ**  
**ФОРУМ**  
2016  
КАЗАНЬ  
13-16 сентября

XVIII специализированная выставка  
**ЖИЛИЩЕ**

X 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: a4@expokazan.ru  
www.expohouse.ru, www.expokazan.ru

УДК 697.133

Д.В. КРАЙНОВ, канд. техн. наук (dmitriy.kraynov@gmail.com)

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

## Относительное энергосбережение при изменении уровня тепловой защиты зданий

При проектировании тепловой защиты зданий стоит задача выбора величин приведенного сопротивления теплопередаче фрагментов теплозащитной оболочки (стен, окон и т. д.) таким образом, чтобы удовлетворить сразу трем требованиям: поэлементному, комплексному и санитарно-гигиеническому. Основными целями проектирования наряду с прочностью и долговечностью являются: минимизация затрат на возведение ограждающих конструкций и потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции зданий за отопительный период. Расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период зависит от градусо-суток. Для 458 городов России проанализировано распределение градусо-суток отопительного периода (ГСОП) и их связь с требуемым сопротивлением теплопередаче ограждений. Определены постоянная и зависящая от ГСОП составляющие удельных теплопотерь. Введено понятие относительного энергосбережения при изменении уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Найдена взаимосвязь относительного энергосбережения и относительного изменения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

**Ключевые слова:** теплопотери, сопротивление теплопередаче, нормирование, градусо-сутки отопительного периода.

D.V. KRAYNOV, Candidate of Sciences (Engineering) (dmitriy.kraynov@gmail.com)

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

### Relative Energy Saving When Changing the Level of Thermal Protection of Buildings

In the course of designing the thermal protection of buildings the problem of selecting the values of reduced resistance to heat transfer of fragments of heat protection of the envelope (walls, windows, etc.) which meet all the three requirements – element-by-element, complex, and sanitary-hygienic – arises. Main tasks of designing, along with the strength and durability, are minimization of expenditures for construction of enveloping structures and losses of thermal energy through enveloping structures of buildings during the heating period. The expenditure of thermal energy for heating of building during the heating period depends on the degree day. The distribution of degree days of the heating period (DDHP) and their connection with the required resistance of enclosures to heat transfer has been analyzed for 458 cities of Russia. The constant component and the component depending on DDHP of specific heat losses have been determined. The concept of the relative energy saving, when changing the level of thermal protection of enveloping structures of buildings, is introduced. The interconnection of the relative energy saving and the relative change in the reduced resistance of enclosing structures to heat transfer has been found.

**Keywords:** heat losses, resistance to heat transfer, normalization, degree day of heating period.

При проектировании энергоэффективных зданий перед проектировщиком стоит задача разработки или выбора из уже имеющихся таких архитектурных и технических решений, которые с минимальными капиталозатратами позволят достичь поставленных показателей [1–4]. Например, необходимо создать здание с заданным классом энергосбережения. Для этого придется оперировать удельной характеристикой расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания,  $q_{от}$ , которая, в свою очередь, зависит среди прочих от удельной теплозащитной характеристики здания,  $k_{об}$  [5]. В расчет последней входят коэффициент компактности  $K_{комп}$  и общий коэффициент теплопередачи здания  $K_{общ}$ , зависящий от приведенного сопротивления теплопередаче каждого фрагмента теплозащитной оболочки здания  $R_o^{ип}$ . Отдельный фрагмент, например стена, состоит из конечного набора конструктивных элементов. Следовательно, влиять на класс энергосбережения здания возможно на различных уровнях. Рассмотреть все факторы влияния в рамках данной статьи не представляется возможным, поэтому остановимся на зависимости изменения теплопотерь через ограждающие конструкции здания при изменении уровня тепловой защиты.

### Анализ требований к тепловой защите зданий

Рассмотрим изменение нормативных значений приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен жилых зданий. Для сравнения будем использовать данные стандартов, действующих в России в разное время [5–10].

Согласно поэлементным требованиям [5] к теплозащитной оболочке здания, должно выполняться следующее условие:

$$R_o^{ип} \geq R_o^{норм}, \quad (1)$$

где  $R_o^{ип}$ ,  $R_o^{норм}$  – соответственно приведенное и нормируемое сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ .

Нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции следует принимать по формуле:

$$R_o^{норм} = R_o^{тп} \cdot m_p; \quad (2)$$

$$R_o^{тп} = a \cdot ГСОП + b, \quad (3)$$

где  $R_o^{тп}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;  $m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строи-



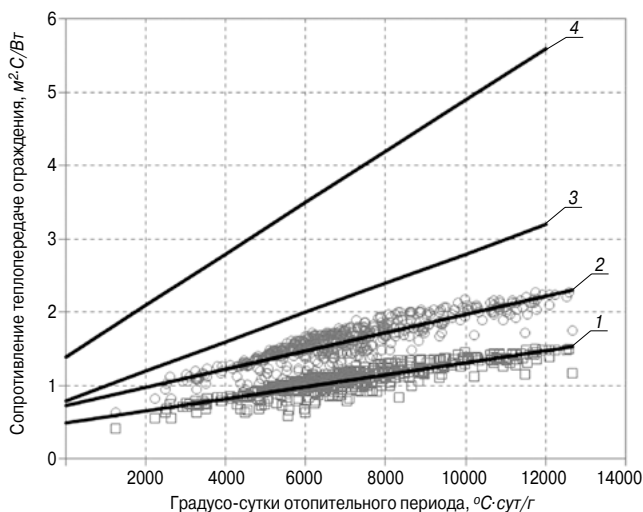


Рис. 1. Зависимость требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен жилых зданий от градусо-суток отопительного периода: 1 и 2 –  $R_o^{норм}$  по (5) при  $\Delta t''=6^\circ\text{C}$  и  $\Delta t''=4^\circ\text{C}$  соответственно; 3 и 4 –  $R_o^{норм}$  по (3) при  $a=0,0002$ ;  $b=0,8$  и  $a=0,00035$ ;  $b=1,4$  соответственно

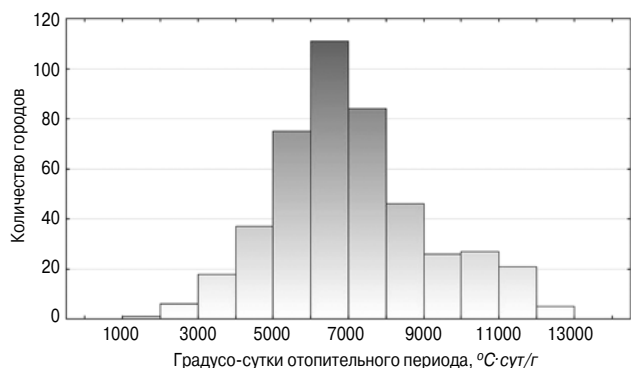


Рис. 2. Распределение градусо-суток отопительного периода для городов России [10]

тельства;  $a$ ,  $b$  – коэффициенты для соответствующих групп зданий. В рамках данной статьи будут рассмотрены коэффициенты  $a$  и  $b$  для наружных стен жилых зданий; ГСОП – градусо-сутки отопительного периода за год,  $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{г}$ .

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от}, \quad (4)$$

где  $t_{в}$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{от}$ ,  $z_{от}$  – средняя температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ , и продолжительность, сут/г., отопительного периода.

Согласно [5],  $m_p \leq 1$ . Там же указаны минимальные значения данного коэффициента для отдельных ограждающих конструкций, однако не дана методика его определения с привязкой к региону строительства.

Коэффициент  $a$  в (3),  $\text{м}^2\cdot\text{г}/(\text{Вт}\cdot\text{сут})$ , или  $\text{м}^2\cdot\text{г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ , является величиной обратной теплотерям за отопительный период через  $1 \text{ м}^2$  фрагмента теплозащитной оболочки с

сопротивлением теплопередаче ( $R_o^{тп} - b$ ). Коэффициент  $b$ ,  $\text{м}^2\cdot\text{C}/\text{Вт}$ , равен требуемому сопротивлению теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки в регионе, где отсутствует отопительный период (ГСОП =  $0^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{г}$ ).

Также в определенных случаях допускается использование формулы, которая до 1995 г. являлась основной при нормировании сопротивления теплопередаче ограждений:

$$R_o^{норм} = \frac{(t_{в} - t_{н})}{\Delta t'' \cdot \alpha_{в}}, \quad (5)$$

где  $t_{в}$  – то же, что и в формуле (4);  $t_{н}$  – средняя температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 [10];  $\Delta t''$  – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{C})$ .

С помощью (3) и (5) рассчитаны градусо-сутки отопительного периода и требуемое сопротивление теплопередаче стен для 458 городов России [10]. При этом в (5) использованы  $\Delta t''=6^\circ\text{C}$  [6] и  $\Delta t''=4^\circ\text{C}$  [7, 8, 5]. Следует отметить, что уменьшение  $\Delta t''$  в 1,5 раза привело к увеличению требуемого сопротивления теплопередаче также в 1,5 раза. Полученные два множества точек нанесены на график (рис. 1).

По расчетным точкам построены линии регрессии с коэффициентами детерминации  $R^2 = 0,773$  (линии 1 и 2), для которых найдены уравнения вида (3). Коэффициенты  $a$  и  $b$  в (3) по требованиям 1995 и 2000 г. рассчитаны по таблице 1а и таблице 1б [8]; для 2003 г. взяты из табл. 4 [9]; для 2012 г. – из табл. 3 [5]. По указанным коэффициентам построены линии 3 и 4 (рис. 1). Результаты представлены в таблице.

Из данных таблицы видно, что коэффициенты  $a$  и  $b$  для второго этапа (СНиП II-3–79\*) получены путем увеличения этих коэффициентов для первого этапа на 75%. Позднее  $a$  и  $b$  не изменялись.

Далее рассмотрим распределение градусо-суток отопительного периода, рассчитанных для 458 городов России по данным [10] (рис. 2).

Видно, что за исключением семи выбранных городов ГСОП распределяются в диапазоне 2000–12000  $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{г}$ . Большая часть городов (77%) имеет ГСОП из интервала 4000–9000  $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{г}$ . Большинство населения России (72%) проживает в регионах с ГСОП = 4000–6000  $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{г}$ . [11]. Продолжительность отопительного периода на этой территории составляет 180–240 сут, т. е. более полугода, а температура отопительного периода – от 0 до  $-10^\circ\text{C}$ , что значительно превосходит аналогичные климатические параметры большинства стран Центральной и Западной Европы. Стоит отметить, что в бывшем СССР большинство населения (свыше 60%) проживало в климатической зоне с ГСОП = 3000–4000  $^\circ\text{C}\cdot\text{сут}/\text{г}$ . [11].

Величина градусо-суток отопительного периода является определяющей при поэтапном нормировании тепловой защиты и определении расхода энергии на отопление здания.

Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  в формуле (3) в различных нормативных документах

	СНиП II-В.3–54	СНиП II-3–79	СНиП II-3–79*		СНиП 23-02–2003	СП 50.13330.2012
	С 1954 по 1979 г.	С 1979 г. по настоящее время	С 01.09.1995 г. 1-й этап	С 01.01.2000 г. 2-й этап	С 2003 по 2012 г.	С 2012 г. по настоящее время
$a$	0,000082	0,000124	0,0002	0,00035	0,00035	0,00035
$b$	0,493	0,738	0,8	1,4	1,4	1,4

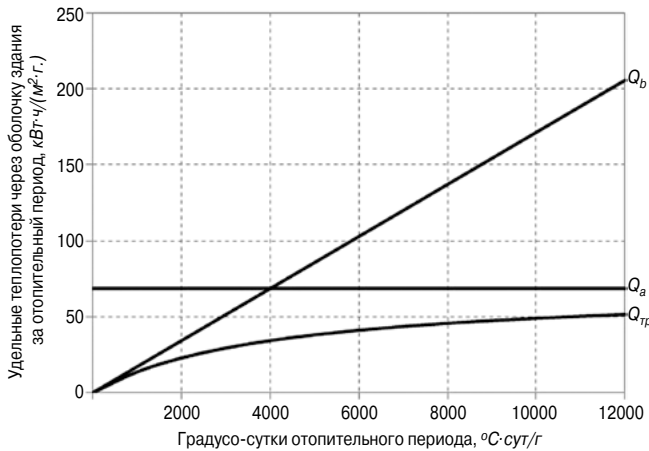


Рис. 3. Зависимость удельных теплопотерь за отопительный период через оболочку здания от ГСОП при  $a=0,00035$  и  $b=1,4$

### Расчет нормативных теплопотерь через наружные стены здания

Теплопотери за отопительный период через фрагмент теплозащитной оболочки здания площадью  $1 \text{ м}^2$  определяются по формуле,  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ :

$$Q = \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП}}{R_{o,i}^{\text{np}}}, \quad (6)$$

где ГСОП – то же, что в (3);  $R_{o,i}^{\text{np}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче  $i$ -го фрагмента теплозащитной оболочки здания,  $\text{м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$ .

Подставив (3) в (6) вместо  $R_{o,i}^{\text{np}}$ , получим выражение для расчета удельных теплопотерь при требуемом сопротивлении теплопередаче ограждения:

$$Q^{\text{np}} = \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП}}{a \cdot \text{ГСОП} + b} = \frac{1}{\frac{1}{Q_a} + \frac{1}{Q_b}} = \frac{Q_a \cdot Q_b}{Q_a + Q_b}; \quad (7)$$

$$Q_a = \frac{0,024}{a}; \quad Q_b = \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП}}{b}. \quad (8)$$

Величина  $Q_a$ ,  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ , характеризует постоянную часть удельных теплопотерь, не зависящую от региона строительства. Величина  $Q_b$ ,  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ , линейно возрастает в зависимости от ГСОП и характеризует удельные теплопотери за отопительный период через ограждение площадью  $1 \text{ м}^2$  с сопротивлением теплопередаче, равном  $b$ . Зависимость  $Q_a$ ,  $Q_b$  и  $Q^{\text{np}}$  от ГСОП показана на рис. 3.

Равные величины  $Q_a = Q_b = 68,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{г}$ . ( $a = 0,00035$  и  $b = 1,4$ ) достигаются при  $\text{ГСОП}=4000\text{°C}\cdot\text{сут}/\text{г}$ . При этом  $Q^{\text{np}} = 34,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{г}$ .  $Q_a$  является асимптотой для  $Q^{\text{np}}$ . Зависимость удельных теплопотерь через теплозащитную оболочку здания за отопительный период от ГСОП для различных  $a$  и  $b$  представлена на рис. 4.

Выразив ГСОП из (3), используя (2) и подставив в (6), получим:

$$Q^{\text{норм}} = \frac{0,024 \cdot (R_o^{\text{np}} - b)}{a \cdot R_o^{\text{np}} \cdot m_p} = \frac{0,024}{a \cdot m_p} \cdot \left(1 - \frac{b}{R_o^{\text{np}}}\right). \quad (9)$$

Используя формулы (6) и (9), определенные ранее диапазоны ГСОП, а также значения коэффициентов  $a$  и  $b$  (см. таблицу), найдем границы нормативных теплопотерь через наружные стены жилых зданий (рис. 5). Линия 1 по-

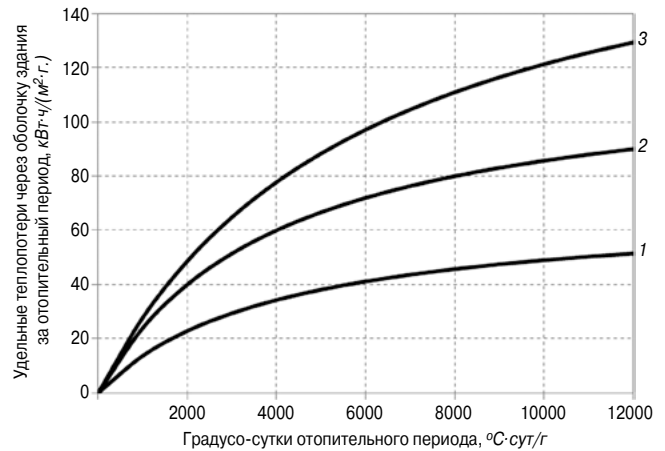


Рис. 4. Зависимость удельных теплопотерь через теплозащитную оболочку здания за отопительный период от ГСОП: 1 –  $a=0,00035$ ,  $b=1,4$ ; 2 –  $a=0,0002$ ,  $b=0,8$ ; 3 –  $a=0,000124$ ;  $b=0,738$

казывает нормативные удельные теплопотери при нормировании по (2) при  $m_p = 1$ ; линия 2 – при  $m_p = 0,63$ ; линия 3 – при нормировании по (5).

Из рис. 5 видно, что при нормировании сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с использованием (5) (линия 3) теплопотери за отопительный период через  $1 \text{ м}^2$  стены здания, расположенного в регионе с  $\text{ГСОП} = 12000\text{°C}\cdot\text{сут}/\text{г}$ , будут равны  $129 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ , а с  $\text{ГСОП} = 2000\text{°C}\cdot\text{сут}/\text{г}$  –  $49 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ . Различие удельных теплопотерь составляет 2,6 раза, или  $80 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ , в то время как ГСОП – 6 раз. При использовании формулы (2) и  $m_p = 1$  (линия 1) удельные теплопотери через стены составят  $51 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$  и  $23 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$  соответственно, т. е. различие равно уже 2,2 раза или  $28 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{г})$ . При  $m_p = 0,63$  получим линию 2. Для большинства городов России (в диапазоне  $\text{ГСОП} = 4000\text{--}9000\text{°C}\cdot\text{сут}/\text{г}$ ) нормативные удельные теплопотери через оболочку здания будут располагаться внутри заштрихованной области.

Стоит отметить, что изменение коэффициентов  $a$  и  $b$  по-разному влияет на удельные теплопотери (рис. 6):

$$\begin{aligned} a^* &= a \cdot (1+c); \\ b^* &= b \cdot (1+c). \end{aligned} \quad (10)$$

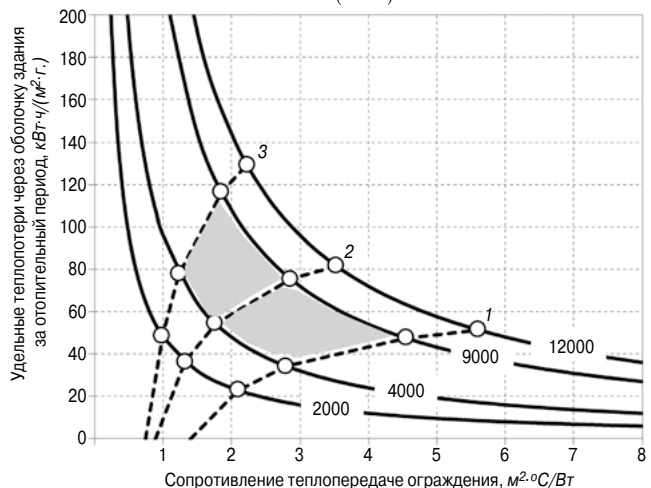


Рис. 5. Зависимость удельных теплопотерь через теплозащитную оболочку здания от приведенного сопротивления теплопередаче. Сплошные линии построены по (6), пунктирные линии – по (9): 1 –  $a=0,00035$ ,  $b=1,4$ ,  $m_p=1$ ; 2 –  $a=0,00035$ ,  $b=1,4$ ,  $m_p=0,63$ ; 3 –  $a=0,000124$ ,  $b=0,738$ ,  $m_p=1$



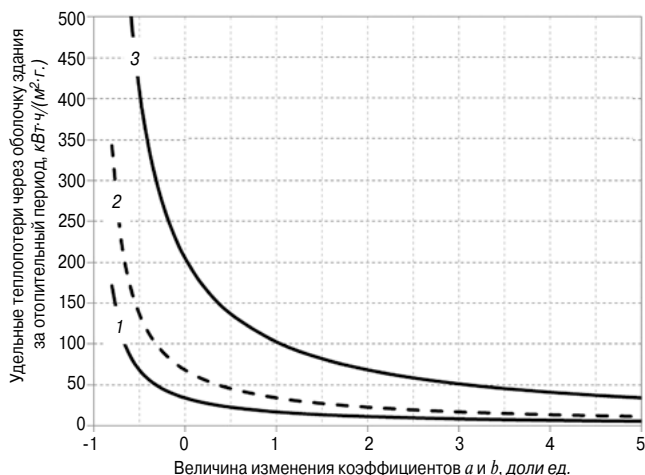


Рис. 6. Влияние изменения коэффициентов  $a$  и  $b$  на удельные теплотери: 1 –  $Q_b$  при ГСОП=2000°C·сут/г.; 2 –  $Q_b$  при ГСОП=4000°C·сут/г. и  $Q_a$ ; 3 –  $Q_b$  при ГСОП=12000°C·сут/г.

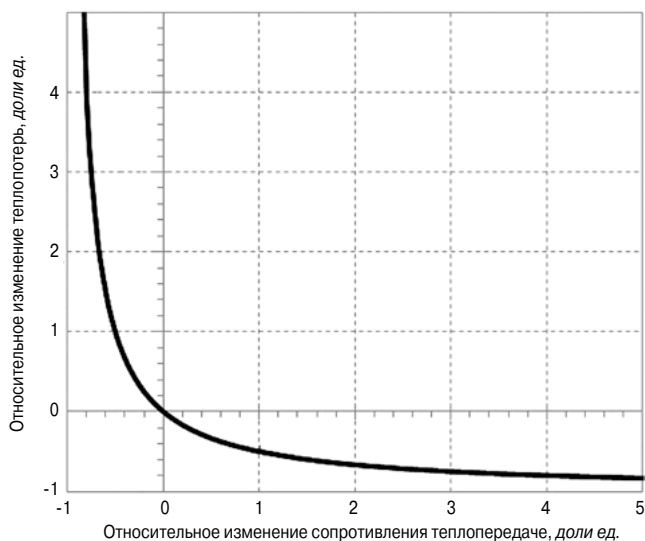


Рис. 7. Зависимость относительного изменения теплотери от относительного изменения сопротивления теплотердаче ограждения

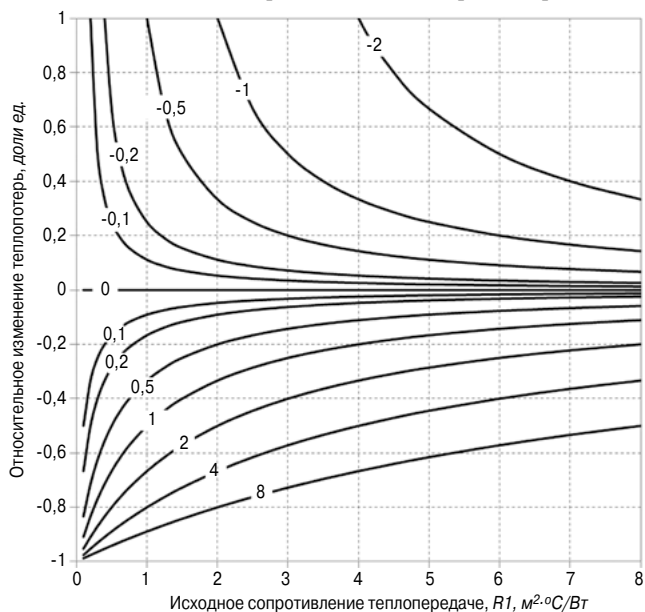


Рис. 8. Зависимость относительного изменения теплотери от исходного сопротивления теплотердаче ограждения и  $\Delta R$

Нормативные коэффициенты  $a$  и  $b$  можно найти, выразив их из (8) и задаваясь необходимым уровнем требуемых удельных теплотери.

#### Методика расчета относительного энергосбережения

При проектировании тепловой защиты зданий стоит задача выбора величин приведенного сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций (стен, окон и т. д.),  $R_{o,i}^{np}$ , удовлетворяющих условию (1). При этом необходимо иметь возможность управления изменением теплотери через ограждающие конструкции (в большую или меньшую сторону) путем изменения сопротивления теплопередаче отдельных элементов теплозащитной оболочки здания. Предположим, что изменение сопротивления теплопередаче ограждения на величину  $\Delta R$  с  $R_1$  до  $R_2$  приводит к изменению теплотери через это ограждение на величину  $\Delta Q$ :

$$\begin{aligned} \Delta R &= R_2 - R_1; \\ \Delta Q &= Q_2 - Q_1. \end{aligned} \quad (11)$$

При увеличении  $R_1$   $\Delta R > 0$  и  $\Delta Q < 0$ , при уменьшении –  $\Delta R < 0$  и  $\Delta Q > 0$ . Введем величины относительного изменения сопротивления теплопередаче и теплотери:

$$\overline{\Delta R} = \frac{\Delta R}{R_1}; \quad (12)$$

$$\overline{\Delta Q} = \frac{\Delta Q}{Q_1}. \quad (13)$$

Это позволит анализировать любые значения  $R$ . Подставив (11) и (6) в (13) и используя (12), получим:

$$\overline{\Delta Q} = -\frac{\Delta R}{R_2} = -\frac{\overline{\Delta R}}{1 + \overline{\Delta R}}, \quad (14)$$

или

$$\overline{\Delta R} = -\frac{\overline{\Delta Q}}{1 + \overline{\Delta Q}}. \quad (15)$$

Из (14) и (15) видно, что  $\overline{\Delta Q}$  и  $\overline{\Delta R}$  имеют одинаковые зависимости друг от друга (рис. 7). Важно, что ГСОП не влияют на величину  $\overline{\Delta Q}$ . Следовательно, в разных климатических регионах при одних и тех же  $R_1$  и  $\Delta R$  получим разные  $Q_1$  и  $\Delta Q$ , но одинаковые  $\overline{\Delta Q}$ .

Из формулы (14) и рис. 7 видно, что заметное снижение относительных теплотери наблюдается для значений  $\overline{\Delta R}$  от 0 до 1,5. При дальнейшем увеличении сопротивления теплопередаче ( $\Delta R \rightarrow \infty$ )  $\overline{\Delta Q} \rightarrow -1$ . Другими словами, снизить теплотери через ограждающие конструкции на 100% невозможно. Так, например, увеличение  $R_1$  конструкции в пять раз или на 400% ( $\Delta R = 4$ ) приводит к уменьшению  $Q_1$  тоже в пять раз, но всего лишь на 80% ( $\overline{\Delta Q} = -0,8$ ). Незначительное же уменьшение сопротивления теплопередаче ограждения приводит к незначительному увеличению теплотери. Поэтому оперировать относительными величинами изменения как сопротивления теплопередаче ограждения, так и теплотери в практических целях более удобно.

Практический интерес может представлять следующая задача. Известно начальное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_1$ . Необходимо найти такое значение  $\Delta R$ , с помощью которого получится добиться заданного изменения теплотери. Для этого из (14) выразим  $\Delta R$ . Получим:

$$\Delta R = -\frac{R_1 \cdot \overline{\Delta Q}}{1 + \overline{\Delta Q}}. \quad (16)$$

Например, необходимо снизить теплопотери через наружную стену на 40% ( $\Delta Q = -0,4$ ). Имеется стена с  $R_1 = 1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Для удовлетворения условию потребуется увеличить сопротивление теплопередаче стены на  $\Delta R = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  (рис. 8). Однако если  $R_1 = 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , то требуется уже  $\Delta R = 2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . И в том и в другом случае сопротивление теплопередаче придется увеличить на 67%.

Также возможно использование (16) и рис. 8 в случаях, когда необходимо узнать, насколько изменятся теплопотери при изменении сопротивления теплопередаче ограждения с заданного  $R_1$  на  $\Delta R$ .

Величины  $\overline{\Delta R}$  и  $\overline{\Delta Q}$  связаны с коэффициентом  $m_p$  из (2) следующим образом:

$$m_p = 1 + \overline{\Delta R}; \quad (17)$$

$$m_p = \frac{1}{1 + \overline{\Delta Q}}, \quad (18)$$

или

$$\overline{\Delta R} = m_p - 1; \quad (19)$$

$$\overline{\Delta Q} = \frac{1}{m_p} - 1. \quad (20)$$

Например,  $m_p = 0,63$  снижает требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены на 37% и увеличивает удельные теплопотери на 58,7%. Задаваясь же известными значениями  $\overline{\Delta R}$  или  $\overline{\Delta Q}$ , возможно рассчитать коэффициент  $m_p$ .

В практических целях использование относительных величин изменения как сопротивления теплопередаче ограждения, так и теплопотерь позволяет проще решать задачи достижения требуемых показателей энергосбережения. Коэффициент  $m_p$  может быть одинаков для всей территории страны, так как градусо-сутки отопительного периода не влияют на величину  $\overline{\Delta Q}$ . Если на региональном уровне устанавливаются показатели энергосбережения отличные от федеральных, то коэффициент  $m_p$  может быть рассчитан с использованием описанной выше методики. Выбор  $\overline{\Delta Q}$  во всех случаях следует осуществлять с учетом структуры распределения теплопотерь через различные фрагменты теплозащитной оболочки здания и особенностей региона.

#### Список литературы

- Гагарин В. Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 41–47.
- Гагарин В.Г., Козлов В.В. О нормировании теплозащиты и требованиях расхода энергии на отопление и вентиляцию в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2013. № 31–2 (50). С. 468–474.
- Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Об оценке энергетической эффективности энергосберегающих мероприятий // *Инженерные системы. АВСК – Северо-Запад*. 2014. № 2. С. 26–29.
- Цыганков В.М. Энергоэффективность и энергосбережение при капитальном ремонте зданий // *Энергосовет*. 2016. № 1 (43). С. 12–16.
- СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003. М.: Минрегион России, 2012. 95 с.
- СНиП II-В.3–54. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы строительного проектирования. М.: Госиздат, 1954. 402 с.
- СНиП II-3–79. Строительная теплотехника. М.: Госстрой СССР, 1979. 33 с.
- СНиП II-3–79\*. Строительная теплотехника. М.: ЦИТП Госстроя России, 1998. 32 с.
- СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий. М.: ЦИТП Госстроя России, 2003. 70 с.
- СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01–99\*. М.: Минрегион России, 2012. 116 с.
- Гашо Е.Г. Особенности развития и проблемы повышения эффективности систем энергообеспечения городов // *Новости теплоснабжения*. 2007. № 11. С. 27–32.

#### References

- Gagarin V.G. Economic analysis of improving the thermal performance of the buildings of building envelopes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 8, pp. 41–47. (In Russian).
- Gagarin V.G., Kozlov V.V. About standardizing thermal performance and energy consumption for heating and ventilation requirements in the draft version of the actualized edition SNiP «Thermal performance of the buildings». *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. № 31–2 (50). pp. 468–474. (In Russian).
- Gagarin V.G., Pastushkov P.P. An estimate of the energy efficiency of energy-saving measures. *Inzhenernye sistemy. AVOK – Severo-Zapad*. 2014. No. 2, pp. 26–29. (In Russian).
- Tsygankov V.M. Energy efficiency and energy savings during overhaul of buildings. *Energosovet*. 2016. No. 1 (43), pp. 12–16. (In Russian).
- SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02–2003 [Thermal performance of the buildings. Actualized edition of SNiP 23-02–2003]. Moscow: Minregion Rossii. 2012. 95 p. (In Russian).
- SNiP II-V.3–54. Stroitel'nye normy i pravila. Chast' II. Normy stroitel'nogo proektirovaniya [Building regulations. Part II. The norms of building design]. Moscow: Gosizdat. 1954. 402 p. (In Russian).
- SNiP II-3–79. Stroitel'naya teplotekhnika [Building heat engineering]. Moscow: Gosstrois SSSR. 1979. 33 p. (In Russian).
- SNiP II-3–79\*. Stroitel'naya teplotekhnika [Building heat engineering]. Moscow: TsITP Gosstroya Rossii. 1998. 32 p. (In Russian).
- SNiP 23-02–2003. Teplovaya zashchita zdaniy [Thermal performance of the buildings]. Moscow: TsITP Gosstroya Rossii. 2003. 70 p. (In Russian).
- SP 131.13330.2012. Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-01–99\* [Building climatology. Actualized edition of SNiP 23-01–99\*]. Moscow: Minregion Rossii. 2012. 116 p. (In Russian).
- Gasho E.G. Features of development and problems of increasing the efficiency of energy-supply systems of cities. *Novosti teplosnabzheniya*. 2007. No. 11, pp. 27–32. (In Russian).

УДК 697.133

А.Ю. НЕКЛЮДОВ, инженер (a.yu.neklyudov@gmail.com)

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

## Расчет характеристик энергопотребления здания при определении трансмиссионных тепловых потерь

*В статье рассмотрен расчет характеристик энергопотребления, сопряженный с определением трансмиссионной составляющей тепловой нагрузки на системы отопления. Величина удельной теплозащитной характеристики определяется на основании значений парциальных теплозащитных характеристик, которые рассчитываются с помощью матричного метода параллельно с трансмиссионными тепловыми потерями. Показан аналитический переход от обязательной методики приложения Г СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» к возможности выполнения подобных расчетов с помощью матричного метода. Рассмотрено понятие местной теплозащитной характеристики. Выполнены показательные расчеты представленных теплозащитных характеристик для типового жилого здания. Определена область применения обозначенных параметров.*

**Ключевые слова:** удельная теплозащитная характеристика, трансмиссионные тепловые потери, матричный метод, парциальная теплозащитная характеристика, местная теплозащитная характеристика, энергопотребление.

A.Yu. NEKLYUDOV, Engineer (a.yu.neklyudov@gmail.com)

Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (RAACS)  
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Calculation of Characteristics of Power Consumption of a Building When Determining Transmission Heat Loss

The article considers the calculation of power consumption associated with determining the transmission component of the thermal load on the heating systems. The value of the specific heat protection characteristic is determined on the basis of the values of partial heat protection characteristics which are calculated with the help of the matrix method in parallel with transmission heat loss. An analytical transition from the mandatory methodology of the Annex G SP 50.13330.2012 "Heat Protection of Buildings" to the possibility of similar calculations with the help of the matrix method is shown. The concept of local heat protection characteristics is considered. Indicative calculations of heat protection characteristics for a typical residential building are made. The sphere of the use of these parameters is determined.

**Keywords:** specific heat protection characteristic, transmission heat loss, matrix method, partial heat protection characteristic, local heat protection characteristic, power consumption.

Приложение Г СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» содержит в себе методику расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий. Эта удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию является основной величиной, характеризующей потребление энергии зданием, которая используется при определении класса энергосбережения здания.

В области информационных технологий все большее распространение получает такая серия подходов и методов обработки баз данных, которая позволяет оперировать этими данными при использовании принципа «три V»: volume (объем данных), velocity (скорость обработки), а также возможного прироста данных) и variety (многообразие типа данных, подразумевающее необходимость особой структуры информации этих данных). Такая совокупность подходов получила название «big data» (большие данные). Применение этих современных подходов при проектировании зданий позволит сопрягать такие задачи, как составление тепловых балансов помещений и определение удельных характеристик здания. Это позволит не только уточнить собственно расчеты, но и максимизировать аналитическую работу при определении энергетически «слабых» компонентов здания, а также стандартизировать некоторые проектные работы. Под

компонентами здания здесь следует понимать как какие-либо конкретные помещения целиком, так и отдельные элементы конструкций этих помещений и объемно-планировочные решения.

#### Удельная теплозащитная характеристика

Удельная теплозащитная характеристика здания  $k_{об}$  рассчитывается согласно СП 50.13330.2012 по формуле (1):

$$k_{об} = \frac{1}{V_{ом}} \sum_i \left( n_{i,j} \frac{A_{phi}}{R_{o,i}^{np}} \right) = K_{комл} \cdot K_{общ}, \quad (1)$$

где обозначения согласно СП 50.13330.2012.

При определении величины удельной теплозащитной характеристики применяются результаты расчета приведенного сопротивления теплопередаче фрагментов теплозащитной оболочки, которые используются в СП 50.13330.2012 в качестве поэлементных требований. Как правило, в качестве фрагмента теплозащитной конструкции рассматривают ограждающую конструкцию целиком (стена, покрытие, окно и т. п.). Однако для нужд расчетов, направленных для определения тепловой мощности систем отопления здания, осреднение значений приведенного сопротивления теплопередаче по фрагментам, не совпадающим с границами помещений, может вызы-



вать некоторую ошибку и при тепловом расчете отопительных приборов, так как для подбора отопительного оборудования помещения в расчет будут взяты некорректные тепловые балансы. В то же самое время применение элементного подхода для расчета трансмиссионной составляющей тепловых потерь крайне необходимо: сложные узлы современных конструкций часто остаются недооценены. При этом необходимость учета всего набора линейных и точечных теплопроводных включений – повышение точности расчета и минимизация искусственных запасов – ограничивается строгими экономическими требованиями, с одной стороны, и жизненной необходимостью – с другой. Существенные предпосылки к повсеместному переходу на расчеты с использованием элементного подхода представлены в [1, 2].

Также величина удельной теплозащитной характеристики нормируется в качестве комплексного требования к тепловой защите здания. Согласно п. Ж.2 СП 50.13330.2012 удельная теплозащитная характеристика также может быть определена через характеристики элементов, составляющих все конструкции оболочки здания, по формуле (2):

$$k_{об} = \frac{1}{V_{ом}} \left[ \sum \left( n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}} \right) + \sum n_{t,j} L_j \Psi_j + \sum n_{t,k} N_k \chi_k \right], \quad (2)$$

где обозначения согласно СП 50.13330.2012.

При таком подходе с учетом современных требований, регламентирующих экономное расходование энергетических ресурсов, целесообразно стандартизировать расчет удельной характеристики теплозащитной оболочки и расчет трансмиссионных тепловых потерь, необходимый для проектирования систем отопления.

### Расчет трансмиссионной составляющей тепловых потерь помещений здания

Определение трансмиссионных тепловых потерь, т. е. тепловых потерь за счет теплопередачи через ограждающие конструкции, с полноценным использованием элементного подхода реализовано с помощью матричного метода, представленного в [3–6].

Матричный метод для составления тепловых балансов помещений зданий – это такой подход, при котором потоки теплоты, характерные для помещений зданий, представлены в качестве сосредоточенных параметров и распределены в строго организованные матрицы.

Для тепловых потерь за счет теплопередачи через ограждающие конструкции помещений результатом применения матричного метода является выполнение построения матрицы трансмиссионных тепловых потерь  $Q_{мп}$ .

$$Q_{мп} = \Delta T \cdot H_{мп} = \begin{pmatrix} (t_{e_1} - t_n) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (t_{e_2} - t_n) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (t_{e_3} - t_n) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (t_{e_n} - t_n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} H_{мп1} \\ H_{мп2} \\ H_{мп3} \\ \dots \\ H_{мпn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_{мп1} \\ Q_{мп2} \\ Q_{мп3} \\ \dots \\ Q_{мпn} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $Q_{мпn}$  – трансмиссионные потери теплоты через ограждающие конструкции  $n$ -го помещения, Вт;  $t_{e_n}$  и  $t_n$  – температуры воздуха внутри помещения и снаружи соответственно, °С;  $H_{мпn}$  – удельная теплопередача через ограждения  $n$ -го помещения, Вт/°С.

### Расчет удельной теплозащитной характеристики помещений здания

На основании формулы (2) становится возможным выражение величины удельной теплозащитной характеристики для каждого помещения здания – парциальной теплозащитной характеристики. Данную операцию удобно выполнять в матричном виде с применением величины удельной теплопередачи. Использование этой величины  $H_{мп}$  как суммы всех членов соответствующей матрицы позволяет для формулы (1) получить следующее выражение (4):

$$k_{об} = \frac{1}{V_{ом}} \sum_i \left( n_{t,i} \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}} \right) = K_{ком} \cdot K_{общ} = \frac{H_{мп}}{V_{ом}}, \quad (4)$$

где  $V_{ом}$  – отапливаемый объем здания, м<sup>3</sup>.

Выражение, аналогичное выражению (4), для каждого помещения здания легко получить с помощью матричного аппарата. Введем матрицу парциальных теплозащитных характеристик  $k_{об}$  (5):

$$K_{об} = H_{мп} \cdot \frac{1}{V_{ом}} = \begin{pmatrix} H_{мп1} \\ H_{мп2} \\ H_{мп3} \\ \dots \\ H_{мпn} \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{V_{ом}} = \begin{pmatrix} k_{об1} \\ k_{об2} \\ k_{об3} \\ \dots \\ k_{обn} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где  $k_{обn}$  – парциальная теплозащитная характеристика  $n$ -го помещения здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°С).

Сумма членов матрицы (5) является удельной теплозащитной характеристикой, нормируемой СП 50.13330.2012 в качестве комплексного требования к тепловой защите здания.

Очевидно, что при использовании матричного метода для расчета трансмиссионных тепловых потерь расчет удельной теплозащитной характеристики становится неким сопутствующим расчетом.

### Сравнительный параметр тепловой защиты помещения

Кроме того, применение матриц позволяет выделить еще один параметр – местную теплозащитную характеристику  $K_{м.об}$ . Это отношение удельной теплопередачи ограждений помещения к объему этого помещения (6):

$$k_{м.об} = \frac{H_{мпn}}{V_{ом}} \cdot \frac{V_{ом}}{V_{омn}} = \frac{H_{мпn}}{V_{омn}}, \quad (6)$$

где  $V_{омn}$  – отапливаемый объем  $n$ -го помещения здания, м<sup>3</sup>.

Составить необходимую матрицу можно с помощью выражения (7):

$$K_{м.об} = V_{ом^{-1}} \cdot H = \begin{pmatrix} \frac{1}{V_{ом1}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{V_{ом2}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{V_{ом3}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{V_{омn}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} H_{мп1} \\ H_{мп2} \\ H_{мп3} \\ \dots \\ H_{мпn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{м.об1} \\ k_{м.об2} \\ k_{м.об3} \\ \dots \\ k_{м.обn} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где  $k_{м.обn}$  – местная теплозащитная характеристика помещения здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°С);  $V_{ом^{-1}}$  – матрица величин, обратных

Результаты расчета теплозащитных характеристик

	Номер	Наименование помещения	Объем, м <sup>3</sup>	$H$ , Вт/(м <sup>3</sup> ·°C)	$k_{об}$ , Вт/(м <sup>3</sup> ·°C)	$k_{от,об}$ , Вт/(м <sup>3</sup> ·°C)
Типовой этаж	1	Кв. 1 (комната)	52,9	8	0,00089	0,151
	2	Кв. 1 (кухня)	28,3	6,2	0,00069	0,219
	3	Кв. 1 (с/у)	10,1	0	0	0
	4	Кв. 1 (холл)	13,4	0	0	0
	5	Кв. 2 (комната 1)	52,9	7,7	0,00086	0,145
	6	Кв. 2 (комната 2)	41,4	7,7	0,00086	0,185
	7	Кв. 2 (кухня)	36,1	15,3	0,00171	0,425
	8	Кв. 2 (с/у)	3,6	0	0	0
	9	Кв. 2 (ванная)	7,3	0	0	0
	10	Кв. 2 (холл)	24,4	0	0	0
	11	Кв. 3 (комната)	52,9	8	0,00089	0,151
	12	Кв. 3 (кухня)	28,3	6,2	0,00069	0,219
	13	Кв. 3 (с/у)	10,1	0	0	0
	14	Кв. 3 (холл)	13,4	0	0	0
	15	Кв. 4 (комната 1)	52,9	13,3	0,00148	0,251
	16	Кв. 4 (комната 2)	41,4	12,2	0,00136	0,294
	17	Кв. 4 (кухня)	36,1	15,3	0,00171	0,425
	18	Кв. 4 (с/у)	3,6	0	0	0
	19	Кв. 4 (ванная)	7,3	0	0	0
	20	Кв. 4 (холл)	24,4	0	0	0
	21	Холл общий	26,6	0	0	0
	22	Холл при ЛЛУ	30,2	13,1	0,00145	0,432
	<b>Σ</b>	<b>(для здания в целом)</b>	<b>8983,8</b>	<b>1783,3</b>	<b>0,199</b>	<b>49,58</b>

отапливаемым объемам соответствующих помещений, м<sup>3</sup>;  $K_{м,об}$  – вектор-столбец местных теплозащитных характеристик помещений здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°C).

Местная теплозащитная характеристика помещения является индикаторной величиной. Местная теплозащитная характеристика – это физическая величина, численно равная потерям тепловой энергии единицы отапливаемого объема в единицу времени при перепаде температуры в 1°С через теплозащитную оболочку рассматриваемого помещения. Данный параметр при учете внутренних ограждений может принимать отрицательные значения. В таком случае при составлении матриц для расчета трансмиссионной составляющей тепловых потерь и для наружных, и для внутренних ограждающих помещения конструкций будет учитываться перераспределение тепловых потоков (за счет собственно теплопередачи).

Величина местной теплозащитной характеристики необходима для корректной оценки предполагаемых тепловых потерь: энергетических и материальных затрат – жильцами квартир и арендаторами помещений. В случае применения индивидуального теплоснабжения и поквартирных систем отопления матричный метод становится единственным реальным инструментом расчета как мощностных (в единицу времени), так и энергетических затрат на системы отопления при различных вариантах эксплуатации помещений здания.

#### Пример расчетов

Для наглядного представления рассмотренных характеристик выполнены необходимые расчеты рассмотренных

характеристик для типового жилого здания серии П-44/К. Результаты расчетов сведены в таблице, где величина парциальной теплозащитной характеристики помещения не зависит от объема этого помещения (см. помещения 15, 16, 17): энергетические потери обуславливаются именно теплозащитными свойствами ограждающих конструкций, а сама парциальная характеристика показывает долю вклада помещения в общие потери теплоты за счет теплопередачи относительно единицы заданного объема здания. Местная теплозащитная характеристика показывает зависимости и от теплотехнических характеристик конструкций, и от объема собственно помещения. Чем меньше объем помещения, тем больше необходимо сообщать теплоты помещению в пересчете на единицу объема этого помещения.

Теплозащитные характеристики показывают количественно оптимальность расположения данного помещения в здании с точки зрения тепловых потерь за счет теплопередачи и собственно качество ограждающих конструкций. Эти величины удобно использовать при локальном совершенствовании теплозащитной оболочки, особенно в условиях крайней нехватки материальных ресурсов на реализацию программ, направленных на повышение энергетической эффективности и энергосбережения.

#### Заключение

Накопление данных в области определения теплозащитных характеристик ведет к созданию ключевого параметра, способного на основании сравнения выразить качественный уровень принятых решений по тепловой защите с точки

зрения энергопотребления. Применение «больших данных» в этой области следует соотносить с передовыми научными работами [7–11] для поиска скрытых взаимосвязей и создания оптимизированного проектирования зданий.

Сравнение этих индикаторных величин между собой (для помещений одного здания либо для помещений различных зданий) позволяет определять оптимальные помещения с точки зрения энергетических затрат и выявлять

«опасные» помещения с относительно повышенной долей трансмиссионных тепловых потерь. Таким образом, становится возможной местная проработка ограждающих конструкций зданий: локальное повышение теплозащитных свойств конструкций и точечное внедрение энергоэффективных технологий позволят существенно экономить инвестиции, направляемые на максимальную активизацию энергосбережения.

### Список литературы

1. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 14–16.
2. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботарев А.Г. Развитие методов нормирования теплозащиты энергоэффективных зданий // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 19–23.
3. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Неклюдов А.Ю. Учет теплопроводных включений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2016. № 2 (978). С. 57–61.
4. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Учет теплотехнических неоднородностей ограждений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 3–7.
5. Gagarin V., Neklyudov A.Y. Improving the accuracy of the calculation of thermal capacity of heating systems when designing the buildings with high energy efficiency // *International Journal for Housing Science and Its Applications*. 2015. T. 39. No. 2. С. 79–87.
6. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Использование матричного метода для определения вентиляционной составляющей тепловой нагрузки на систему отопления здания // *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. № 7. С. 21–25.
7. Умнякова Н.П. Теплопередача через ограждающие конструкции с учетом коэффициентов излучения внутренних поверхностей помещений // *Жилищное строительство*. 2014. № 6. С. 14–17.
8. Пастушков П.П., Павленко Н.В., Коркина Е.В. Использование расчетного определения эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 4 (60). С. 168–172.
9. Киселев И.Я. Влияние зависимости теплопроводности строительных материалов от температуры на сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2013. № 31-2 (50). С. 42–45.
10. Шубин И.Л., Ананьев А.И. Теплозащитные свойства и воздухопроницаемость керамических блоков изотерек в кладке стены // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 3. С. 57–59.
11. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I. Calculation of the velocity of air in the air gap facade systems, where natural ventilation // *International Journal of Applied Engineering Research*. V. 10, No. 23 (2015), pp. 43438–43441.

### References

1. Gagarin V.G., Dmitriev K.A. Accounting for thermal inhomogeneities when evaluating the thermal performance of enclosing structures in Russia and European countries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
2. Umnjakova N.P., Butovskij I.N., Chebotarev A.G. The development of of rationing methods of thermal performance of energy-efficient buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 7, pp. 19–23. (In Russian).
3. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Neklyudov A.Yu. Accounting of thermal inhomogeneities when determining the thermal load on the building heating system. *BST: Bjulleten' stroitel'noj tehniki*. 2016. No. 2 (978), pp. 57–61. (In Russian).
4. Gagarin V.G., Neklyudov A.Yu. Accounting of thermal bridges when determining the thermal load on the building heating system. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 3–7. (In Russian).
5. Gagarin V., Neklyudov A.Y. Improving the accuracy of the calculation of thermal capacity of heating systems when designing the buildings with high energy efficiency. *International journal for housing science and its applications*. 2015. V. 39. No. 2, pp. 79–87.
6. Gagarin V.G., Neklyudov A.Yu. Using of the matrix method to determine the ventilation component of heat load on the building heating system. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 7, pp. 21–25. (In Russian).
7. Umnjakova N.P. Heat transfer through the building envelope, taking into account the emission coefficients of internal surfaces of the room. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 6, pp. 14–17. (In Russian).
8. Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Korkina E.V. Using the calculated determination of the operational humidity of thermal insulation materials. *Stroitel'stvo i rekonstrukcija*. 2015. No. 4 (60), pp. 168–172. (In Russian).
9. Kisel'ov I.Ja. Influence of the thermal conductivity of building materials depending on the temperature on the R-value of buildings. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2013. No. 31-2 (50), pp. 42–45. (In Russian).
10. Shubin I.L., Anan'ev A.I. Thermal performance and air permeability of ceramic block izoteks in the masonry wall. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 3, pp. 57–59. (In Russian).
11. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Lushin K.I. Calculation of the velocity of air in the air gap facade systems, where natural ventilation. *International Journal of Applied Engineering Research*. V. 10, No. 23 (2015), pp. 43438–43441.



УДК 534.833

А.А. КОЧКИН<sup>1</sup>, д-р техн. наук (vol.nikit@inbox.ru);  
И.Л. ШУБИН<sup>2</sup>, д-р техн. наук, Н.А. КОЧКИН<sup>2</sup>, аспирант

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

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

## Расчет колебательной скорости и излучаемой мощности элементов конечных размеров в условиях различных резонансов

Рассмотрены теоретические основы прохождения и излучения звука в слоистых вибродемпфированных элементах конечных размеров с шарнирным опиранием по контуру в проеме акустически жесткого бесконечного экрана. На основе теории о самосогласовании звукового поля пространства и вибрационного поля элемента исследован процесс прохождения звука в наиболее практически важных частотных областях: полных пространственных резонансов (ППР), неполных пространственных резонансов (НПР), простых пространственных резонансов (ПрПР). Получено выражение собственной функции трехслойного шарнирно опертого элемента с промежуточным вибродемпфирующим слоем. Анализируется выражение для амплитуды вынужденных колебаний элемента в различных частотных областях. Исследованы условия прохождения звука через элемент с учетом его конечных размеров в областях ППР, НПР и ПрПР. Определена величина излучаемой акустической мощности согласно соотношению, связывающему величину колебательной скорости элемента и давление прошедших звуковых волн по всей площади элемента для различных расчетных областей. Полученные в работе выражения для колебательных скоростей и излучаемой акустической мощности позволяют рассчитать звукоизоляцию слоистых вибродемпфированных элементов в различных частотных областях.

**Ключевые слова:** колебательная скорость, излучаемая мощность, звукоизоляция, слоистый вибродемпфированный элемент.

A.A. KOCHKIN<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (vol.nikit@inbox.ru); I.L. SHUBIN<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), N.A. KOCHKIN<sup>2</sup>, Post-graduate

<sup>1</sup> Vologda State University (15 Lenina Street, 160000, Vologda, Russian Federation)

<sup>2</sup> Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (RAACS) (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Calculation of Vibration Speed and Emitted Power of Elements of Finite Sizes under Conditions of Various Resonances

Theoretical bases of sound transmission and radiation in layered vibro-damping elements of finite sizes with hinge support along the contour in the opening of the acoustically hard endless screen re considered. On the basis of the theory of self-consistency of the acoustic field of the space and the vibration field of the element, the process of sound transmission in the most practically important frequency fields – complete spatial resonances (CSR), incomplete spatial resonances (ISR), simple spatial resonances (SSR) – has been investigated. An expression for the own function of the three-layer hinge supported element with a vibro-damping interlayer has been obtained. An expression for the amplitude of forced vibrations of the element in various frequency domains are analyzed. Conditions of the sound transmission through the element with due regard for its finite sizes in the fields of CSR, ISR, and SSR have been studied. A value of emitted acoustic power according to the ratio connecting the value of vibration speed of the element and the pressure of sound waves passed over the entire area of the element for various computational regions has been determined. Expressions for vibration speeds and emitted acoustic power obtained in this work make it possible to calculate the sound insulation of layered vibro-damping elements in various frequency domains.

**Keywords:** vibration speed, emitted power, sound insulation, layered vibro-damping element.

Величина излучаемой акустической мощности, связывающая величину колебательной скорости элемента и давление прошедших звуковых волн по всей площади элемента для различных частотных диапазонов, в значительной мере определяет звукоизоляцию слоистых элементов конечных размеров [1–7].

При гармонических колебаниях колебательная скорость связана со смещением известным соотношением  $V = i\omega\xi$ .

Поскольку для разных частотных диапазонов значения собственной функции отличаются друг от друга, рассмотрим расчетные значения колебательной скорости отдельно для каждой резонансной области частот.

Для области пространственных резонансов зависимость отклика элемента на  $mn$ -й форме ее собственных колебаний будет иметь вид:

$$\xi_{mn}^2 = \frac{P_{0mn}^2}{\mu} \cdot \frac{\omega^2}{[-\omega_{mn}^2\eta - i(\omega^2 - \omega_{mn}^2)]^2}, \quad (1)$$

Определим далее квадрат колебательной скорости элемента на  $mn$ -м резонансе в каждом единичном интервале частот. В этом случае имеем [5]:

$$\bar{V}_{mn}^2 = \frac{\bar{P}_{0mn}^2}{\mu^2 \Delta\omega_{mn}} \int_0^\infty \frac{\omega^2 d\omega}{[-\omega_{mn}^2\eta - i(\omega^2 - \omega_{mn}^2)]^2}, \quad (2)$$

где  $\bar{P}_{0mn}^2$  – квадрат давления в падающих звуковых волнах, относящихся к выбранному частотному интервалу;  $\Delta\omega_{mn}$  – частотный интервал, в котором определяющий вклад в результирующее движение элемента принадлежит  $mn$ -му резонансу.

Учитывая ортогональность собственных функций, запишем выражение усредненного квадрата колебательной

скорости элемента с возбуждением последней звуковыми волнами диффузного поля в интервале частот  $\Delta\omega$ :

$$\bar{V}_{mn}^2 = \frac{1}{\mu^2 \Delta\omega} \sum_{m=m_n}^{m=m_e} \sum_{n=n_n}^{n=n_e} \bar{p}_{e mn}^2 \int_0^{\infty} \frac{\omega^2 d\omega}{[\omega_{mn}^2 - i(\omega^2 - \omega_{mn}^2)]^2}, \quad (3)$$

где  $m_n, n_n$  – низший номер резонанса в интервале;  $m_e, n_e$  – высший номер резонанса в том же интервале.

После интегрирования зависимость (3) запишется в виде:

$$\bar{V}_{mn}^2 = \frac{\pi}{2\mu^2 \omega_{mn} \Delta\omega \eta} \sum_{m=m_n}^{m=m_e} \sum_{n=n_n}^{n=n_e} \bar{p}_{e mn}^2. \quad (4)$$

С целью дальнейшего упрощения подсчета усредненной колебательной скорости элемента (4) освободимся в этом выражении от знаков суммы, считая, что в частном интервале  $\Delta\omega$  имеется  $\Delta N_{mn}$  резонансов:

$$\bar{V}^2 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\bar{p}_e^2}{\mu^2 \omega_m^2 \Delta\omega \eta}, \quad (5)$$

где  $\bar{p}_e^2 = \bar{p}_{0mn}^2 \Delta N_{mn}$ ;  $\omega_{mn}$  – среднегеометрическая величина между круговыми частотами низшего и высшего резонансов в том же интервале.

Квадрат звукового давления  $\bar{p}^2$  представляет сумму квадратов звуковых давлений в падающих на элемент волнах в пределах телесного угла между двумя конусами, образующие которых составляют с нормалью к элементу углы  $\theta_n$  и  $\theta_e$ . При этом меньший угол  $\theta_e$  соответствует случаю, когда одно из условий существования пространственного резонанса удовлетворяется при высшей частоте интервала  $\Delta\omega$ , а угол  $\theta_n$  – случаю, когда это условие удовлетворяется при низшей частоте того же частотного интервала. Отсюда, если обозначить звуковое давление, соответствующее диффузному падению звука в пределах от 0 до  $\pi/2$ , через  $p$ , следует:

$$\bar{p}_e^2 = p^2 2 \int_{\theta_e}^{\theta_n} \cos \theta \sin \theta d\theta. \quad (6)$$

Для области неполных пространственных резонансов ( $m=m'$ ;  $n \neq n'$ ) наибольшее значение смещения элемента с учетом диссипации энергии будет выражаться формулой:

$$W_{mn_0} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{p_{e m n'} \cdot 2n \sin n'_{m_0} \pi}{\mu [\omega_{mn_0}^2 (1+i\eta) - \omega^2] \pi (n^2 - n'^2)}, \quad (7)$$

или, ограничиваясь наибольшим значением амплитуды, имеем:

$$W_{mn_0} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{p_{e m n'} \cdot 2n}{\mu [\omega_{mn_0}^2 (1+i\eta)] \pi (n^2 - n'^2)}; \quad (n'_{m_0} = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots). \quad (8)$$

В другом случае при  $m \neq m'$ ;  $n = n'$  наибольшее значение смещения элемента будет равно:

$$\xi_{m_0 n} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{p_{e m' n} \cdot 2m}{\mu [\omega_{m_0 n}^2 (1+i\eta)] \pi (m^2 - m'^2)}; \quad (m'_{m_0 n} = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots). \quad (9)$$

Считая амплитуду звукового давления в волне величиной постоянной, вынесем в зависимостях (8) и (9)  $p_{e m n'}$  и  $p_{e m' n}$  за знак суммы. Тогда можно записать:

$$\sum_{n=\frac{1}{2}; \frac{3}{2}}^{\infty} \frac{n^2}{(n^2 - n'^2)^2} \approx \sum_{n'=\frac{1}{2}; \frac{3}{2}}^{\infty} \frac{m^2}{(m^2 - m'^2)^2} \approx \frac{\pi}{16}. \quad (10)$$

С учетом этого квадрат амплитуды колебательной скорости элемента в каждом единичном частотном интервале запишется как:

$$\bar{V}_{mn}^2 = \frac{\bar{p}_{e m n'}^2}{4\mu^2 \Delta\omega_{m_0 n_0}} \int_0^{\infty} \frac{\omega^2 d\omega}{[-\omega_{m_0 n_0}^2 \eta - i(\omega^2 - \omega_{m_0 n_0}^2)]^2}, \quad (11)$$

где:  $\Delta\omega_{m_0 n_0}$  – интервал частот между соседними резонансами отдельно для  $m = 1$  во всем интервале  $\Delta\omega$ , затем для  $m = 2$  в этом же частотном интервале и т. д. до  $m = m_e$ .

Можно также записать:

$$\bar{V}_{m_0 n}^2 = \frac{\bar{p}_{e m n'}^2}{4\mu^2 \Delta\omega_{m_0 n_0}} \int_0^{\infty} \frac{\omega^2 d\omega}{[-\omega_{m_0 n_0}^2 \eta - i(\omega^2 - \omega_{m_0 n_0}^2)]^2}. \quad (12)$$

Если элемент находится под воздействием диффузного звукового поля в интервале частот  $\Delta\omega$ , то с учетом вклада каждого резонанса с  $m = 1, 2, \dots, m_e$  квадрат колебательной скорости элемента можно записать:

$$\bar{V}_{m_0 n_0}^2 = \sum_{m=1}^{m_e} \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\bar{p}_{e m n'}^2 \Delta\omega_{m_0 n_0}}{\mu \Delta\omega_{m_0 n_0} \eta}. \quad (13)$$

Считая, что в интервале частот  $\Delta\omega$  имеется  $\Delta N_{m_0 n_0}$  неполных пространственных резонансов, выражение усредненного квадрата амплитуды колебательной скорости будет иметь вид:

$$\bar{V}_{m_0 n_0}^2 = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\bar{p}_{e m n'}^2}{\mu^2 \Delta\omega_{m_0 n_0} \eta}. \quad (14)$$

Здесь  $\bar{p}_{e m n'}^2 = \bar{p}_{m n'}^2 \Delta N_{m_0 n_0}$ , или

$$\bar{p}_{e m n'}^2 = \bar{p}_1^2 \cdot 2 \int_{\theta_e}^{\theta_n} \cos \theta \sin \theta d\theta. \quad (15)$$

Принимая  $\theta_n = \pi/2$ , что соответствует частоте  $f_{cp} = \sqrt{f_n f_e}$  из соотношения (15), получаем:

$$\bar{p}_{e m n'}^2 = p_1^2 (1 - \sin^2 \theta_e).$$

Учитывая, что  $\sin^2 \theta_e = \frac{f_{cp}}{f_e}$ , имеем:

$$\bar{p}_{m n'}^2 = p_1^2 \left[ 1 - \left( \frac{f_{cp}}{f_e} \right)^2 \right]. \quad (16)$$

Для второго случая соотношения индексов  $m \neq m'$ ;  $n = n'$  квадрат колебательной скорости элемента будет иметь вид:

$$\bar{V}_{m_0 n}^2 = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\bar{p}_{e m n}^2}{\mu^2 \Delta\omega_{m_0 n} \eta}, \quad (17)$$

где  $\bar{p}_{e m n}^2 = p_1^2 \left[ 1 - \left( \frac{f_{cp}}{f_e} \right)^2 \right]$ .

Тогда усредненное значение квадрата колебательной скорости в области неполных пространственных резонансов будет равно:

$$\bar{V}^2 = \sqrt{\bar{V}_{m_0 n_0}^2 \bar{V}_{n m_0}^2} = \frac{\pi}{8} \left[ 1 - \left( \frac{f_{cp}}{f_e} \right)^2 \right] \frac{P^2}{\mu \Delta\omega_{m_0 n_0} \eta}, \quad (19)$$

где  $p = p_1 = p_2$ . Следует заметить, что для третьоктавных полос величина  $1 - \left( \frac{f_{cp}}{f_e} \right)^2 = 0,2$ , а для октавных полос 0,48.

Для области простых резонансов амплитуда колебаний определится по формуле:

$$\xi_{m_0 n_0} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{3_{e m n'} 4 m n \sin m'_{m_0 n_0} \pi \sin n'_{m_0 n_0} \pi}{\mu [\omega_{m_0 n_0}^2 (1+i\eta) - \omega^2] \pi^2 (n^2 - n'^2)}. \quad (20)$$

Проводя суммирование, усредняя звуковое давление в интервале и относя полученные средние значения к среднегеометрическому резонансу, имеем:

$$\tilde{V}^2 = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\bar{P}_{\text{en}}^2}{\mu^2 \Delta \omega \omega_{\text{мр}} \eta} \quad (21)$$

Суммируя энергию в падающих звуковых волнах, получим:

$$\tilde{V}^2 = \frac{\pi}{32} \left[ 1 - \left( \frac{f_{\text{cp}}}{f_0} \right)^2 \right] \frac{P^2}{\mu^2 \Delta \omega \omega_{\text{мр}} \eta} \quad (22)$$

Для расчета излучаемой мощности элементов конечных размеров в условиях различных резонансов рассмотрим процесс излучения звука трехслойным прямоугольным элементом площадью  $a \times b$  с шарнирным опиранием по контуру. Выберем прямоугольную систему координат так, чтобы ее начало совместилось с левой нижней вершиной пластины. Ось  $ox$  направим вдоль стороны  $a$ , а ось  $oy$  – вдоль стороны  $b$ .

Акустическую мощность, излучаемую элементом в полупространство  $z < 0$ , определим из известного выражения:

$$W_2 = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left( \int_0^a \int_0^b P_{(x,y-\frac{H}{2})} V_{(x,y)}^* dx dy \right) \quad (23)$$

где  $P_{(x,y-\frac{H}{2})}$  – максимальное во времени звуковое давление в плоскости элемента;  $V_{(x,y)}^*$  – комплексно сопряженное значение колебательной скорости элемента в каждой точке  $x, y$ .

Звуковое давление в волне, излученной вынужденной изгибной волной, запишем как:

$$P_{(x,y,z)} = \sum_{\substack{m'=0 \\ n'=0}}^{\infty} P_{m'n'} \sin \frac{m'\pi x}{a} \sin \frac{n'\pi y}{b} e^{i(k_z m' z + \omega t)} \quad (24)$$

Колебательную скорость элемента представим в свою очередь в виде разложения в ряд по собственным функциям:

$$V_{(x,y,t)} = \sum_{n=1}^{\infty} V_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} e^{i\omega t} \quad (25)$$

где  $V_0 = V_{mn}/4$  – амплитудное значение колебательной скорости элемента при распространении изгибной волны в одном направлении.

Поскольку волновой процесс распространяется по трем координатам  $(x, y, z)$ , то волновое уравнение в рассматриваемом случае будет:

$$\nabla^2 p(x, y, z) + K_0^2 p(x, y, z) = 0,$$

где  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  – оператор Лапласа.

Отсюда следует, что:

$$K_{zm'n'} = \sqrt{K_0^2 - \left( \frac{m'\pi}{a} \right)^2 - \left( \frac{n'\pi}{b} \right)^2} \quad (26)$$

Амплитудное значение звукового давления каждого члена ряда определим из граничных условий на поверхности:

$$\left[ \frac{\partial p(x, y, z)}{\partial z} \right]_{z=-\frac{H}{2}} = i\omega \rho_0 V(x, y, t) \quad (27)$$

Тогда выражение акустической мощности запишется в виде:

$$W_{2mn} = \frac{\rho_0 c_0}{2} \bar{V}_{mn}^2 \frac{\left( \int_0^a \int_0^b \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{m'\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy \right)^2 K_0}{\int_0^a \int_0^b \sin \frac{2m'\pi x}{a} \sin \frac{2n'\pi y}{b} dx dy K_{zm'n'}} \quad (28)$$

В случае пространственных резонансов, когда  $m = m'$ ;  $n = n'$ , последнюю зависимость можно представить как:

$$W_{2mn} = \frac{\rho_0 c_0}{2} \bar{V}_{mn}^2 a b \frac{K_0}{\sqrt{K_0^2 - \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 - \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2}} \quad (29)$$

Отсюда коэффициент излучения:

$$S = \frac{K_0}{\sqrt{K_0^2 - \left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 - \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2}} \frac{1}{\cos \theta_{mn}} \quad (30)$$

Определим количественную характеристику излучения для области неполных пространственных резонансов. Рассмотрим случай, когда  $m' = m$ ;  $n \neq n'$ . Тогда выражение излучаемой акустической мощности в одном из направлений, заданном падающей звуковой волной, примет вид:

$$W_{2m'n'} = \frac{\rho_0 c_0}{2} \bar{V}_{mn}^2 a b S_{m'n'} \quad (31)$$

где  $\bar{V}_{nm}^2 = \bar{V}_{mn}^2 / 4$ .

После интегрирования получаем значения коэффициента звукоизлучения для каждых  $m, n, m', n'$ :

$$S_{m'n'} = \frac{4}{\pi^2} \frac{n^2}{(n^2 - n'^2)^2} \sin^2 n' \pi \frac{1}{\cos \theta_{m'n'}} \quad (32)$$

Коэффициент излучения (32) имеет наибольшие значения при  $m = 1/2; 3/2; 5/2; \dots$ .

Принимая во внимание излучаемую энергию в четырех направлениях, соответствующих углам падения четырех звуковых волн; учитывая, что суммарная излучаемая мощность согласно [5] определяется соотношением  $W_{2mn} = 4W'_{2mn}$ .

Тогда из (31) имеем:

$$W_{2m'n'} = \frac{\rho_0 c_0}{2} V_{mn}^2 a b S_{m'n'} \quad (33)$$

Для случая, когда  $m' \neq m$ ;  $n' = n$ :

$$W_{2m'n} = \frac{\rho_0 c_0}{2} V_{m_0 n}^2 a b S_{m'n} \quad (34)$$

где  $S_{m'n} = \frac{4}{\pi^2} \frac{m^2 \sin^2 m' \pi}{(m^2 - m'^2)^2} \frac{1}{\cos \theta_{m'n}}$  (35)

с максимумами для  $m' = 1/2; 3/2; 5/2; \dots$ .

Аналогично предыдущему рассмотрим излучение для случая простых резонансов, когда  $m' \neq m$ ;  $n' \neq n$ .

Выражение акустической мощности, излучаемой четырьмя вынужденными изгибными волнами, будет иметь вид:

$$W_{2m'n'} = \frac{\rho_0 c_0}{2} V_{m_0 n_0}^2 a b S_{m'n'} \quad (36)$$

Коэффициент звукоизлучения в этом случае равен:

$$S_{m'n'} = \frac{16}{\pi^4} \frac{m^2 n^2}{(m^2 - m'^2)^2 (n^2 - n'^2)^2} \sin m' \pi \sin n' \pi \frac{1}{\cos \theta_{m'n'}} \quad (37)$$

и имеет наибольшее значение, если  $m' = 1/2; 3/2; \dots$ ;  $n' = 1/2; 3/2; \dots$ .

Рассмотрим далее излучение в условиях диффузного падения звука на элемент. Для этого будем использовать подход, рассмотренный в работе [5].

Так, для области полных пространственных резонансов излучаемую мощность представим в виде:

$$W_2 = \sum_{m=m_n}^{m=m_g} \sum_{n=n_n}^{n=n_g} \bar{W}_{2mn} \quad (38)$$

где  $m_n, n_n, m_g, n_g$  – номера форм собственных колебаний элемента, соответствующих частотам  $f_n$  и  $f_n$ . Черта над знаком мощности обозначает усреднение в интервале  $\Delta f_{mn}$ .



С учетом формулы (29) зависимость (38) запишется как:

$$W_2 = \frac{\rho_0 c_0}{2} a \theta \sum_{m=m_n}^{m=m_e} \sum_{n=n_n}^{n=n_e} \bar{V}_{mn}^2 \frac{1}{\Delta K_{0mn}} \int_{K_{0m_1 n_1}}^{K_{0m_2 n_2}} \frac{K_{0mn} dK_{0mn}}{\sqrt{K_{0mn}^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}}, \quad (39)$$

где  $\bar{V}_{mn}^2$  – усредненное значение квадрата колебательной скорости элемента в интервале частот  $\Delta f_{mn}$ ;  $\Delta K_{0m_1 n_1} - K_{0m_2 n_2}$ ,  $K_{0m_1 n_1}$ ,  $K_{0m_2 n_2}$  – волновые числа среды, соответствующие крайним частотам  $f_{m_1 n_1}$ ,  $f_{m_2 n_2}$ , на которых вклад резонанса остается решающим.

В итоге усреднений по входящим параметрам последнее выражение (39) будет иметь вид:

$$W_2 = \frac{\rho_0 c_0}{2} a \cdot \theta \cdot \bar{V}^2 \bar{S}, \quad (40)$$

$$\bar{S} = \frac{1}{\Delta f} (f_2 \cos \theta_{2B_2 C_2} - f_1 \cos \theta_{1B_1 C_1}); \quad (41)$$

$$\bar{V}^2 = \sum_{m=m_n}^{m=m_e} \sum_{n=n_n}^{n=n_e} \bar{V}_{mn}^2. \quad (42)$$

Для области неполных пространственных резонансов, принимая во внимание, что вклад простых резонансов в результирующее движение элемента в рассматриваемом диапазоне частот пренебрежимо мал, будем считать суммарную излучаемую мощность по формуле:

$$W_2^H = \sum_{m=1}^{m=m_e} \sum_{n=1/2}^{n=n_e} W_{2mn'} + \sum_{m=1}^{m=m_e} \sum_{n=1/2}^{n=n_e} \bar{W}_{2m'n'}, \quad (43)$$

где  $\bar{W}_{2mn'}$  и  $\bar{W}_{2m'n'}$  – излучаемые на каждой частоте акустические мощности в области неполных пространственных резонансов. Черта над знаком мощности означает усреднение по углам излучения в пределах каждого резонансного пика.

Сумма  $\sum_{n=n_n}^{n=n_e}$  означает наличие числа вкладов в изучаемую мощность на резонансах с каждым  $m = 1, 2, \dots, m_e$  в соответствии с числом  $n' = 1/2; 3/2; \dots, n'_e$ . Аналогично этому знак  $\sum_{m=m_n}^{m=m_e}$  представляет сумму вкладов мощности для каждого  $n = 1, 2, \dots, n_e$  по числу  $m' = 1/2; 3/2; \dots, m'_e$ . Индексы  $n, e$  означают, как и выше, принадлежность соответствующих чисел к крайним частотам интервала  $\Delta f$ .

Усредняя величины, формирующие факторы излучения, запишем:

$$W_2^H = \frac{\rho_0 c_0}{2} \frac{4}{\pi^2} a \theta \bar{V}_{mn_0}^2 m_e \frac{n_{cp}^2}{(n_{cp}^2 - n_{cp}'^2)^2} \cdot \frac{1}{\Delta f_{mcp_0}} \cdot (f_{m_2 n_0} \cos \theta_{m_2 n_0} - f_{m_1 n_0} \cos \theta_{m_1 n_0}) + \bar{V}_{m_0 n}^2 n_e \frac{m_{cp}^2}{(m_{cp}^2 - m_{cp}'^2)^2} \frac{1}{\Delta f_{ncsp_0}} \times (f_{n_2 m_0} \cos \theta_{n_2(m)} - f_{n_1 m_0} \cos \theta_{n_1 m_0}), \quad (44)$$

$$\text{где } \bar{V}_{m(n)}^2 = \sum_{m=m_n}^{m=m_e} \bar{V}_{m(n)}^2; \quad \bar{V}_{m(n)}^2 = \sum_{n=n_n}^{n=n_e} \bar{V}_{m(n)}^2.$$

Число  $n_{cp}$  в первом слагаемом относится к резонансу с числом  $m_{ne} = \sqrt{m_n \cdot m_e}$ ;  $m_n = 1$  и частотой  $f'_{cp} = \sqrt{f_{m_n n_0} f_{n_0}}$ . Число  $m_{cp}$  соответствует резонансу с числом  $n_{ne} = \sqrt{n_n \cdot n_e}$ ;  $n_n = 1$  и частотой  $f''_{cp} = \sqrt{f_{n_n m_0} f_{m_0}}$ . Числа  $n_{cp}'^2$ ,  $m_{cp}'^2$  относятся к расчетным резонансам соответственно с частотами  $f'_{cp}$  и  $f''_{cp}$ .

В силу последнего появляется возможность освободиться от знаков сумм  $\sum_{n=n_n}^{n=n_e}$ ,  $\sum_{m=m_n}^{m=m_e}$  путем введения множителей  $m_e$  и  $n_e$ .

С целью дальнейшего упрощения формулы (44) проведем усреднение в интервале  $\Delta f = f_e - f_n$ . При этом примем:  $f'_{cp} \approx f''_{cp} \approx f_{cp} = \sqrt{f_n \cdot f_e}$ .

Учитывая, что для  $m'_{cp}$ ,  $n'_{cp}$  угол  $\theta_1 \approx \pi/2$ , соотношение (40) запишется:

$$\bar{W}_2^H = \frac{\rho_0 c_0}{2} a \theta \frac{4}{\pi^2} \frac{f_e \cos \theta_e}{\Delta f} [\bar{V}_{mn_0}^2 m_e \frac{n_{cp}^2}{(n_{cp}^2 - n_{cp}'^2)^2} + \bar{V}_{m_0 n}^2 n_e \frac{m_{cp}^2}{(m_{cp}^2 - m_{cp}'^2)^2}]. \quad (45)$$

Здесь угол  $\theta_e$ , определяемый из соотношений

$$\arcsin \frac{\lambda_e}{\lambda_{cp}} = \arcsin \frac{f_{cp}}{f_e}.$$

Тогда коэффициент звукоизлучения равен:

$$\bar{S} = \frac{4}{\pi^2} \frac{f_e \cos \theta_e}{\Delta f} [m_e \frac{n_{cp}^2}{(n_{cp}^2 - n_{cp}'^2)^2} + n_e \frac{m_{cp}^2}{(m_{cp}^2 - m_{cp}'^2)^2}]. \quad (46)$$

Можно показать, что в случае определения звукоизолирующей и звукоизлучающей способности в третьоктавной полосе частот множитель  $f_e \cos \theta_e / \Delta f$  равен  $\approx 2,3$ . В случае же использования октавной полосы множитель равен 1,4.

С учетом полученных соотношений зависимость (46) можно переписать для третьоктавных полос как:

$$\bar{S} = 0,933 [m_e \frac{n_{cp}^2}{(n_{cp}^2 - n_{cp}'^2)^2} + n_e \frac{m_{cp}^2}{(m_{cp}^2 - m_{cp}'^2)^2}], \quad (47)$$

а для октавных полос как:

$$\bar{S} = 0,568 [m_e \frac{n_{cp}^2}{(n_{cp}^2 - n_{cp}'^2)^2} + n_e \frac{m_{cp}^2}{(m_{cp}^2 - m_{cp}'^2)^2}]. \quad (48)$$

В области простых резонансов излучаемую элементом мощность представим в виде:

$$W_2^P = \sum_{m=m_n}^{m=m_e} \sum_{n=n_n}^{n=n_e} \bar{W}_{2m'n'}. \quad (49)$$

Здесь  $\bar{W}_{2m'n'}$  представляет усредненное значение мощности в интервале  $\Delta f_{m_0 n_0}$ . После подстановки соответствующих значений имеем:

$$W_2^P = \frac{\rho_0 c_0}{2} a \theta \frac{16}{\pi^4} \sum_{m=m_n}^{m=m_e} \sum_{n=n_n}^{n=n_e} \bar{V}_{m(n)}^2 \sum_{m'=1/2}^{m'=m'_e} \sum_{n'=1/2}^{n'=n'_e} \frac{m^2 n^2}{(m^2 - m'^2)^2 (n^2 - n'^2)^2} \times \frac{1}{\Delta K_{0m_0 n_0}} \int_{K_{0m_0 n_0}}^{K_{0m_0 n_0}} \frac{K_{0m_0 n_0} dK_{0m_0 n_0}}{\sqrt{K_{0m_0 n_0}^2 - \left(\frac{m'\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n'\pi}{b}\right)^2}}, \quad (50)$$

где  $\bar{V}_{m_0 n_0}^2$  – усредненное значение квадрата колебательной скорости элемента в интервале частот  $\Delta f_{m_0 n_0}$ ;  $m' = 1/2; 3/2; \dots$ ;  $n' = 1/2; 3/2; \dots$ .

Считая, что  $\sum_{m=m_n}^{m=m_e} \bar{V}_{m_0 n_0}^2 = \bar{V}_{m_0 n_0}^2$ , заменим  $m$  на  $m_{cp} = \sqrt{m_n \cdot m_e}$

и  $n$  на  $n_{cp} = \sqrt{n_n \cdot n_e}$ . Учитывая далее, что в частотном интервале  $\Delta f_{m_0 n_0}$  имеется  $\Delta N$  резонансов, освободимся от знака

суммы  $\sum_{m'=1/2}^{m'=m'_e}$ . В результате проведенного усреднения и интегрирования зависимости (50) будем иметь:

$$W_2^P = \frac{\rho_0 c_0}{2} \bar{V}_{m_0 n_0}^2 a \theta \frac{16}{\pi^4} \Delta N \frac{n_{cp}^2}{(n_{cp}^2 - n_{cp}'^2)^2} \frac{m_{cp}^2}{(m_{cp}^2 - m_{cp}'^2)^2} \times \frac{1}{\Delta f_{m_0 n_0}} (f_{m_0 n_0 2} \cos \theta_{m_0 n_0 2} - f_{m_0 n_0 1} \cos \theta_{m_0 n_0 1}). \quad (51)$$

Исходя из физического понимания чисел  $m'$ ,  $n'$  следует, что для  $m'_{cp}$  и  $n'_{cp}$  угол  $\theta_{m_0 n_0 1} = \pi/2$ . Тогда коэффициент излучения будет определяться:

$$\bar{S} = \frac{16}{\pi^4} \Delta N \frac{n_{cp}^2 m_{cp}^2 f_6 \cos \theta_6}{(n_{cp}^2 - n_n^2)^2 (m_{cp}^2 - m_n^2)^2 \Delta f_6}. \quad (52)$$

Здесь множитель  $f_6 \Delta f_6 / \cos \theta_6$ , как и для области неполных резонансов, равен 2,3 для третьоктавной полосы и 1,4 – для полосы шириной в октаву. Число резонансов в полосе  $\Delta f = f_6 - f_n$  находится из зависимости, приведенной в [5]:

$$\Delta N = \frac{a6}{4\pi} (K_{n_6}^2 - K_{n_n}^2). \quad (53)$$

Суммарная мощность, излучаемая слоистым элементом, складывается из собственных волн колебания и излучения чисто вынужденных волн. Вынужденные колебания и излучаемая при этом звуковая энергия определенным образом связаны с законом массы. Изменения излучаемой мощности за счет излучения при вынужденных колебаниях учтены в методе расчета путем введения понятия эффективного коэффициента потерь.

Полученные выше выражения для колебательных скоростей и излучаемой акустической мощности позволяют определить звукоизоляция слоистого элемента в различных частотных диапазонах [8].

#### Список литературы

1. Бобылев В.Н., Монич Д.В., Тишков В.А., Гребнев П.А. Резервы повышения звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций: Монография. Н. Новгород: ННГАСУ, 2014. 118 с.
2. Гребнев П.А., Монич Д.В. Исследование звукоизолирующих свойств бескаркасных ограждающих конструкций из сэндвич-панелей // *Приволжский научный журнал*. 2014. № 3 (31). С. 53–58.
3. Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И., Шубин И.Л. Метод расчета шума в квартирах с ячейковыми системами планировки // *Жилищное строительство*. 2013. № 7. С. 33–35.
4. Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И. Метод расчета шумового режима в зданиях с коридорными системами планировки // *Строительство и реконструкция*. 2013. № 3 (47). С. 28–32.
5. Осипов Л.Г., Бобылев В.Н., Борисов Л.А. Звукоизоляция и звукопоглощение. М.: Издательство АСТ, 2004. 450 с.
6. Кочкин А.А. Легкие звукоизолирующие ограждающие конструкции из элементов с вибропоглощающими слоями // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2011. № 5 (38). Ч. 2. С. 152–156.
7. Кочкин А.А. Звукоизоляция слоистых вибродемпфированных элементов светопрозрачных ограждающих конструкций // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 40–41.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011610940. Расчет звукоизоляции трехслойных панелей с промежуточным вибродемпфирующим слоем / А.А. Кочкин. Заявка № 2010617526. Дата поступл. 30.11.2010. Заперг. 25.01.2011.

#### References

1. Bobylev V.N., Monich D.V., Tishkov V.A., Grebnev P.A. Rezervy povysheniya zvukoizolyatsii odnosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy. Monografiya. [Reserves of increase of sound insulation of the single-layer protecting

designs. Monograph]. N. Novgorod. NNGASU. 2014. 118 p. (In Russian).

2. Grebnev P.A., Monich D.V. Research of the soundproofing properties the frameless of the protecting designs from a sandwich panels. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2014. No. 3 (31). pp. 53–58. (In Russian).
3. Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I., Shubin I.L. Method of calculation of noise in apartments with cell systems of planning. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 7, pp. 33–35. (In Russian).
4. Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I. Method of calculation of the noise mode in buildings with corridor systems of planning. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2013. No. 3 (47), pp. 28–32. (In Russian).
5. Osipov L.G., Bobylev V.N., Borisov L.A. Zvukoizolyatsiya i zvukopogloshchenie [Sound insulation and sound absorption]. M.: AST Publishing house. 2004. 450 p. (In Russian).
6. Kochkin A.A. The easy soundproofing protecting designs from elements with vibration-absorbing layers. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. No. 5 (38). Part 2, pp. 152–156. (In Russian).
7. Kochkin A.A. Sound insulation of laminated vibrodamped elements of translucent enclosing structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 6, pp. 40–41. (In Russian).
8. Certificate of state registration of the computer program № 2011610940. Calculation of sound insulation of three-layer panels with the intermediate vibrodamping layer. A.A. Kochkin. Application No. 2010617526. Declared. 30.11.2010; Published 25.01.2011.

## Подписка на электронную версию



Актуальная информация для всех работников  
строительного комплекса

ЖИЛИЩНОЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВО

<http://rifsm.ru/page/5/>

УДК 691 (571.56)

Т.А. КОРНИЛОВ, д-р техн. наук, Г.Н. ГЕРАСИМОВ, инженер

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58)

## Наружные стены малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкций для условий Крайнего Севера

*С учетом климатических особенностей Крайнего Севера и опыта строительства малоэтажных домов с использованием легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) предложены многослойные стеновые конструкции. В качестве дополнительной ветрозащитной оболочки предлагается использовать ориентированно-стружечные плиты OSB между отдельными теплоизоляционными слоями. Дан анализ полученных температурных полей для различных стеновых конструкций с использованием ЛСТК. Представлены результаты вычислений значений приведенного сопротивления теплопередаче и коэффициента теплотехнической однородности. Установлено, что для обеспечения тепловой защиты зданий с двухслойными стеновыми конструкциями эффективнее всего варьировать толщину наружного слоя при постоянной толщине внутреннего слоя, принятого по минимальным размерам стоечного профиля, определенным исходя из его несущей способности. В трехслойных конструкциях внутренний теплоизоляционный слой отрицательно влияет на распределение температуры внутри стены. На основании анализа результатов теплотехнического расчета и технико-экономического сравнения рекомендованы оптимальные решения стеновых ограждений для малоэтажных домов с использованием ЛСТК в условиях Крайнего Севера.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, стеновые конструкции, тепловая защита, легкие стальные тонкостенные конструкции, инфильтрация, температура, мостики холода.

T.A. KORNILOV, Doctor of Sciences (Engineering), G.N. GERASIMOV, Engineer  
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University (58, Belinsky Street, Yakutsk, 677000, Russian Federation)

### External Walls of Low-Rise Houses Made of Light Steel Thin-Walled Structures for the Far North Conditions

Multi-layered wall constructions with due regard for climatic features of the Far North and the experience in construction of low-rise houses with the use of light steel thin-walled structures (LSTS) are proposed. As an additional windproof shell it is proposed to use oriented structural boards (OSB) between heat-insulating layers. An analysis of temperature fields obtained for different wall structures with the use of LSTS is made. Results of the calculation of values of the reduced resistance to heat transfer and the coefficient of thermo-technical uniformity are presented. It is established that for providing the heat protection of buildings with two-layered wall structures it is most efficient to vary the thickness of the external layer at constant thickness of internal layer adopted according to minimal sizes of studs which are determined on the basis of its bearing capacity. The inner heat insulating layer of three-layered structures negatively influences on the temperature distribution inside the wall. On the basis of the analysis of thermo-technical calculation and technical-economic comparison, the optimal designs of enclosure walls for low-rise houses with the use LSTS under conditions of the Far North are recommended.

**Keywords:** wall structures, heat protection, light steel thin-walled structures, infiltration, temperature, cold bridges.

Первый опыт строительства и эксплуатации малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) в Якутии показал ряд конструктивно-технологических ошибок, связанных с недостаточным учетом сложных климатических условий при строительстве на Крайнем Севере. Большинство проектов зданий из ЛСТК выполнено на основе рекомендаций заводов-изготовителей и стандартов, принятых за рубежом. Одной из серьезных ошибок при проектировании и строительстве малоэтажных домов из ЛСТК является недостаточный учет повышенной инфильтрации воздуха в условиях Крайнего Севера [1]. В районах Якутии расчетная температура наиболее холодной пятидневки наружного воздуха ( $t_n$ ) составляет  $-41$ – $-58^\circ\text{C}$ , что обуславливает высокую инфильтрацию воздуха, особенно в арктических районах с высокими скоростями ветра в зимний период.

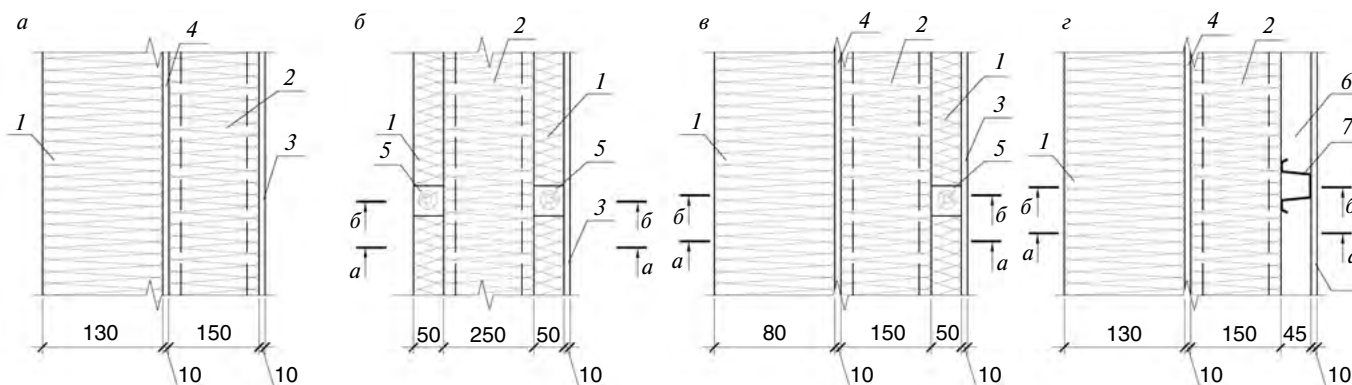
Малоэтажные здания из ЛСТК имеют многочисленные теплопроводные элементы в виде стальных тонкостенных профилей, которые снижают теплозащитные свойства

ограждающих конструкций. Вместе с тем анализ проектов и материалов натурных обследований зданий из ЛСТК показывает, что проектирование ограждающих конструкций выполняется без расчетов температурных полей в местах расположения стальных профилей. Наиболее проблемными местами утечки тепла являются стыки стенового ограждения с цокольным перекрытием. На построенных объектах применены теплоизоляционные материалы и теплоизолирующие прокладки, имеющие недостаточную упругость при низкой температуре.

В связи с вышеизложенным целью стали разработки конструктивных решений стеновых ограждений малоэтажных домов из ЛСТК, максимально адаптированных к климатическим условиям Крайнего Севера.

Технология строительства малоэтажных домов из ЛСТК наиболее экономически выгодна для арктических районов Якутии [1]. С учетом данного обстоятельства рассмотрено несколько типов стеновых ограждений домов из ЛСТК для осредненных расчетных параметров, обеспечи-





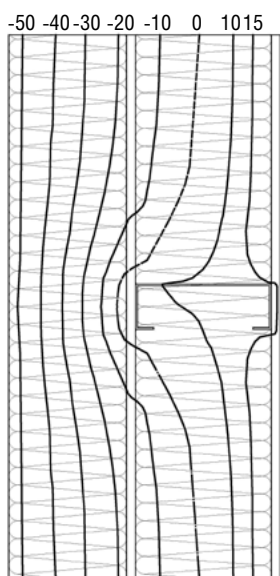
**Рис. 1.** Конструктивные решения наружных стен зданий из ЛСТК: а – тип 1; б – тип 2; в – тип 3; г – тип 4; 1 – минераловатные плиты марки П125 ( $\lambda=0,042 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ); 2 – минераловатные плиты марки П40 ( $\lambda=0,041 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ); 3 – гипсокартон ( $\lambda=0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ); 4 – OSB ( $\lambda=0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ); 5 – обрешетка из деревянных брусков  $50 \times 50 \text{ мм}$  с шагом  $600 \text{ мм}$  ( $\lambda=0,14 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ); 6 – прослойка воздуха ( $\lambda=0,357 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ); 7 – шляпный стальной профиль толщиной  $1,8 \text{ мм}$  с шагом  $600 \text{ мм}$  ( $\lambda=58 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ )

вающих теплозащиту зданий в арктических районах: расчетная температура наружного воздуха  $t_{\text{н}}=-54^\circ\text{C}$ ; нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче стены согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» не менее  $R_{0, \text{нр}}=5,25 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ; температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}}=+21^\circ\text{C}$ .

Для выбора конструктивного решения наружных стен для малоэтажных зданий из ЛСТК в условиях Крайнего Севера, может быть, уместно вспомнить физиологию крупных животных, обитающих в этих районах. Суровая природа Севера принуждает животный мир приспосабливаться к многодневному зимнему периоду с экстремально низкой температурой наружного воздуха. В этих условиях теплозащита животных представляет собой многослойную систему, состоящую из меха с наличием опушки в зимний период, кожи и, самое главное, подкожного жира. В рассматриваемом примере мех и подкожный жир являются отличной теплоизоляцией. И действительно опыт проектирования и строительства зданий из ЛСТК в России и других странах [2–4] показывает, что для районов с устойчивой низкой температурой наружного воздуха наиболее оптимальным конструк-

ограждения каркасного здания из ЛСТК особое внимание следует обратить на создание воздухонепроницаемой оболочки здания. В работах [5, 6] показано, что любые щели и неплотности примыкания теплоизоляционных плит даже при небольшой скорости движения воздуха в них оказывают большое влияние на температурный режим ограждающей конструкции и значительно снижают приведенное сопротивление теплопередаче. Для уменьшения влияния процесса инфильтрации воздуха в северных условиях наружный теплоизоляционный слой каркасной стены следует принимать из минераловатной плиты плотностью не менее  $100 \text{ кг}/\text{м}^3$ , и лучше всего с кашированной поверхностью. Во внутренних слоях теплоизоляционные плиты должны обладать определенной упругостью для облегчения установки материала в конструкции на металлическом каркасе. Очевидно, что конструкции стеновых ограждений с использованием стальных тонкостенных профилей должны быть технологичными для монтажной сборки в построечных условиях.

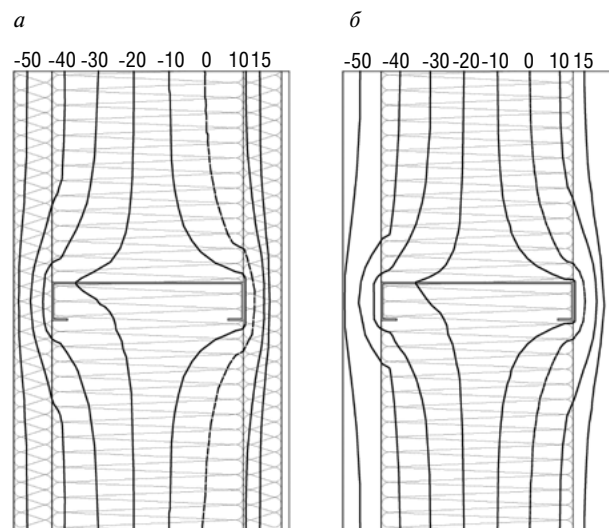
Многие производители ЛСТК для снижения мостиков холода рекомендуют применение термопрофилей. Однако из практического опыта возведения зданий в арктических районах известно, что теплоизоляционный материал меж-



**Рис. 2.** Результаты расчета распределения температуры в стеновом ограждении типа 1 при температуре наружного воздуха  $-54^\circ\text{C}$  по горизонтальному сечению

тивным решением стен для малоэтажных каркасных домов являются многослойные теплоизоляционные системы. При таком решении снижается влияние мостиков холода и повышаются теплозащитные свойства ограждения. Стыки между теплоизоляционными плитами и стоечными профилями перекрываются отдельными слоями. В отличие от традиционных решений в предлагаемых ниже конструкциях стен с ЛСТК для снижения влияния инфильтрации воздуха в северных районах рекомендуется размещать плиты OSB с обязательной проклейкой стыков воздухо-непроницаемой лентой между отдельными теплоизоляционными слоями.

При выборе конструктивного решения стенового



**Рис. 3.** Результаты расчета распределения температуры в стеновом ограждении типа 2 при температуре наружного воздуха  $-54^\circ\text{C}$  по горизонтальному сечению: а – на участке расположения теплоизоляционных плит; б – в месте расположения деревянных брусков

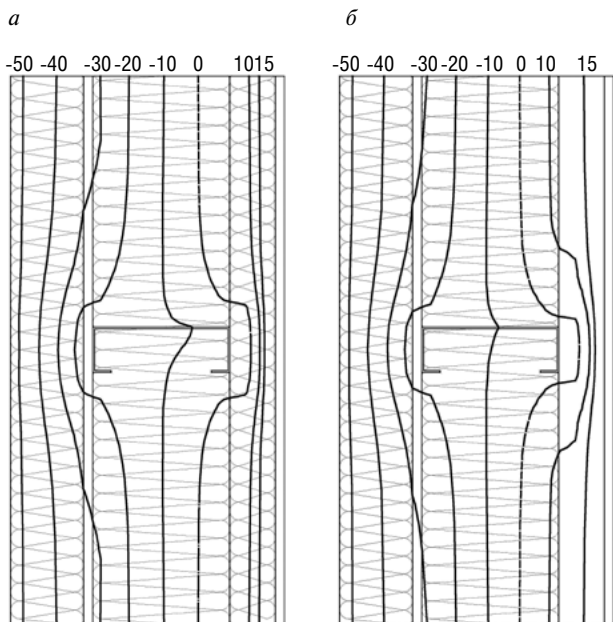


Рис. 4. Результаты расчета распределения температуры в стеновом ограждении типа 3 при температуре наружного воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  по горизонтальному сечению: а – на участке расположения теплоизоляционных плит; б – в месте расположения деревянного бруска

ду стойками неплотно примыкает к стенкам профилей в местах расположения перфорации.

Поэтому для малоэтажных зданий, проектируемых для северных районов, предлагаются двухслойные и трехслойные наружные стеновые ограждения с применением ЛСТК. Для различных типов стеновых ограждений выполнены расчеты температурных полей по сертифицированной программе «SHADDAN 3D ST» и определены значения приведенного сопротивления теплопередаче. Программа «SHADDAN 3D ST» позволяет определять пространственные температурные поля конструкций любой сложной конфигурации, в том числе и с воздушными прослойками внутри конструкции, граничащими со средами с различными параметрами [7, 8]. Результаты численного анализа температурного режима предлагаемых типов стеновых ограждений домов из ЛСТК приведены ниже. При этом с учетом характерного шага стоечных профилей рассмотрен участок стенового ограждения шириной 0,6 м и высотой 0,6 м.

**Стеновое ограждение типа 1** (рис. 1, а). Двойная теплоизоляция из минераловатных плит: плотностью  $40\text{ кг/м}^3$  – внутренний слой; плотностью  $125\text{ кг/м}^3$  – наружный слой. С внутренней стороны предусмотрены двойные гипсокартонные листы и пароизоляция из мембраны марки Изоспан В. Первый слой теплоизоляции размещается между стальными тонкостенными стоечными профилями, размещенными с шагом 600 мм. К стоечным профилям крепятся ориентированно-стружечные плиты (OSB), что создает дополнительную ветрозащитную оболочку. Наружный слой теплоизоляции соединяется с плитами OSB с помощью тарельчатых стеклопластиковых дюбелей. Для крепления вентилируемого фасада к плитам OSB устанавливаются металлические кронштейны.

Для достижения нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче стеновой конструкции варьируется толщина внутренних слоев кратно 50 мм, а наружного слоя – кратно 10 мм. Последнее допущение

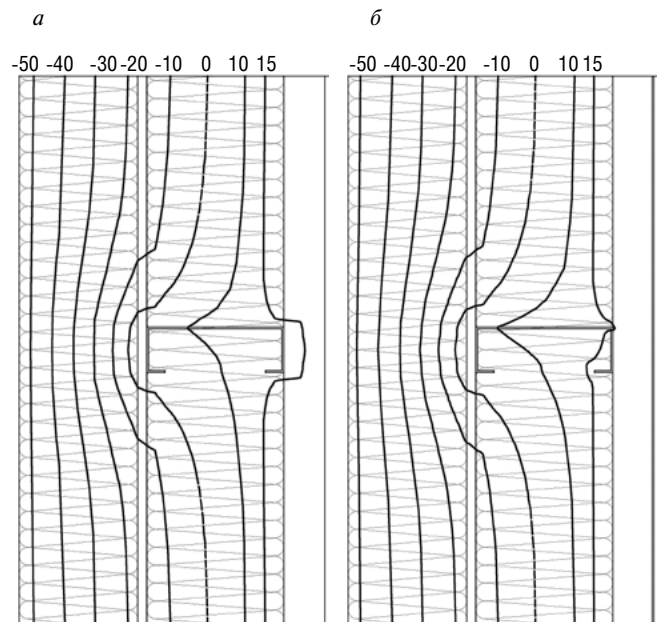


Рис. 5. Результаты расчета распределения температуры в стеновом ограждении типа 4 при температуре наружного воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  по горизонтальному сечению: а – на участке расположения теплоизоляционных плит; б – в месте расположения шляпного стального профиля

принято условно для всех типов стеновых ограждений для сравнительного анализа, несмотря на то что заводы строительных материалов производят минераловатные плиты толщиной, кратной 50 мм.

Анализ результатов расчета температурных полей для стеновых ограждений типа 1 различных вариантов показал, что для достижения нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче стены –  $5,25\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C/Вт}$  наиболее эффективно увеличивать толщину наружного слоя, принимая толщину внутреннего слоя по размерам стоечного профиля, определяемого несущей способностью. Так, при толщине внутреннего слоя 150 мм стенового ограждения типа 1 толщина наружного слоя теплоизоляции должна быть не менее 130 мм. Из картины распределения температуры по горизонтальным сечениям (рис. 2) видно, что линия с нулевой температурой на участке стены между стальными профилями располагается в середине внутреннего слоя, а в месте расположения сечения профиля резко преломляется и выходит на наружный слой. Здесь явно сказывается влияние теплопроводного включения в виде стального профиля на распределение температуры внутри стенового ограждения. Наименьшая температура на внутренней поверхности стены наблюдается на участке расположения стоечного профиля  $t_{b\text{ min}} = +16,7^{\circ}\text{C}$ , что выше температуры точки росы при  $\varphi_{\text{int}} = 55\%$ ,  $t_d = 11,6^{\circ}\text{C}$ . При этом ширина участка минимальной температуры близка к ширине полки стоечного профиля, что указывает на передачу теплового потока через стенку профиля (рис. 2). Средняя температура на поверхности стенового ограждения типа 1 составляет  $t_b = +19,4^{\circ}\text{C}$  и отличается от температуры внутреннего воздуха на  $1,6^{\circ}\text{C}$ , что отвечает нормируемому значению.

При анализе результатов расчета установлено, что тарельчатый дюбель для крепления теплоизоляционных плит из стеклопластика играет незначительную роль при формировании температурного поля стенового огражде-

Технико-экономические показатели наружных стен

Тип стены	$t_{в, \min}^{\circ\text{C}}$	$t_{в, \text{ср}}^{\circ\text{C}}$	$R_{0, \text{пр}}^{\text{м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт}}$	Удельные потери теплоты, $\Psi$ , $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{C})$	Коэффициент теплотехнической однородности, $\gamma$	Затраты на возведение 1 $\text{м}^2$ стены, тыс. р	Затраты на возведение 1 $\text{м}^2$ к единице приведенного сопротивления, тыс. р
1	+16,67	+19,41	5,25	0,19	0,76	5,86	1,12
2	+15,91	+19,45	5,37	0,186	0,63	7,57	1,41
3	+16,49	+19,45	5,36	0,186	0,78	5,94	1,11
4	+17,8	+19,43	5,29	0,189	0,75	6,12	1,16

ния, а стальной кронштейн оказывает локальное влияние на распределение температуры. На участке в середине внутреннего теплоизоляционного слоя температура выравнивается и на внутренней поверхности стены в сечении с кронштейном практически не отличается от других участков. Такое положение обусловлено наличием промежуточного барьера из плит OSB с более низкой теплопроводностью.

Для исследования влияния толщины стального профиля на теплозащитные свойства стенового ограждения отдельно проведены расчеты температурного поля стены типа 1 со стальными профилями S152×51×1,8 и S152×51×1,5. В результате выявлено, что увеличение толщины профиля на 0,3 мм незначительно влияет на температурный режим ограждений: минимальная температура на внутренней поверхности снижается на 0,175°C, приведенное сопротивление – на 0,063  $\text{м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт}$ .

**Стеновое ограждение типа 2** (рис. 1, б). Данный тип представляет собой трехслойную ограждающую конструкцию, состоящую из минераловатных плит плотностью 125  $\text{кг} / \text{м}^3$  во внутреннем и наружном слоях, плотностью 40  $\text{кг} / \text{м}^3$  в среднем слое. С внутренней стороны предусмотрены двойные гипсокартонные листы и пароизоляция из мембраны марки Изоспан В. Внутренний и наружные слои теплоизоляции размещаются между горизонтальными деревянными брусками с шагом 600 мм. Внутренний слой теплоизоляции размещается между стальными тонкостенными стоечными профилями S254×51×1,8, принятыми с шагом 600 мм. Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче в рассматриваемом решении достигается при толщине наружного, среднего и внутреннего слоев 50; 250; 50 мм соответственно.

Наличие внутреннего слоя теплоизоляции отрицательно сказывается на температурном поле по сечению стенового ограждения. Линия с нулевой температурой на участке между стойками проходит в среднем слое теплоизоляции, а в месте расположения стоечного профиля огибает сечение профиля с внутренней стороны и располагается на близком расстоянии от внутренней поверхности (рис. 3, а). Минимальная температура на внутренней поверхности возникает в местах крепления деревянных брусков к стальному профилю и составляет  $t_{в, \min} = +15,9^{\circ\text{C}}$ , средняя температура –  $t_{в, \text{ср}} = +19,4^{\circ\text{C}}$ , что незначительно отличается от температуры на внутренней поверхности на других участках (рис. 3, б).

**Стеновое ограждение типа 3** (рис. 1, в). В отличие от стенового ограждения типа 1 в рассматриваемом варианте предусмотрен третий слой теплоизоляции с внутренней стороны. Минераловатные плиты укладываются между деревянными брусками сечением 50×50 мм, расположенными с шагом 600 мм по вертикали. Для анализа теплозащитных свойств варьируется толщина внешнего и

среднего слоев теплоизоляции и соответственно размеры стоечного профиля. Вместе с тем, как показали многочисленные расчеты, наиболее эффективно для рассматриваемого типа стеновых ограждений принимать средний слой равным 150 мм с учетом несущей способности стального профиля S152×51×1,8 и варьировать толщину наружного слоя ограждения. При таком решении для достижения нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче стены толщина наружного слоя ограждения должна составлять 80 мм. Общая толщина теплоизоляции стенового ограждения типа 3 составляет 280 мм, такая же как у двухслойного ограждения 1.

На рис. 4 представлены распределения температуры в ограждающей конструкции типа 3. В данном стеновом ограждении наличие внутреннего слоя, как и в ограждении типа 2, негативно сказывается на температурном режиме ограждения. В первую очередь наблюдается смещение линии с нулевой температурой во внутренний слой стены на участках расположения стальных стоечных профилей и сближение ее с внутренней поверхностью стены (рис. 4, а). Минимальная температура на внутренней поверхности наблюдается в местах расположения стоечных профилей и поперечных направляющих из деревянных брусков (рис. 4, б).

**Стеновое ограждение типа 4** (рис. 1, г). Рассматриваемая конструкция стенового ограждения принята аналогично стеновому ограждению типа 1 только с воздушной прослойкой с внутренней стороны. Анализ результатов расчета показывает, что воздушная прослойка незначительно влияет на температурный режим ограждения в целом. Для достижения нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче стены толщина наружного слоя ограждения должна составлять 130 мм. Общая картина распределения температуры внутри стены аналогична стеновому ограждению типа 1. Линия с нулевой температурой на участке нахождения стального стоечного профиля располагается также в наружном слое теплоизоляции (рис. 5, а). Для рассматриваемого типа в некоторой степени улучшается температурный режим. Минимальная температура на внутренней поверхности стены возникает на участке крепления горизонтального шляпного профиля к стоечному профилю и составляет  $t_{в, \min} = +17,8^{\circ\text{C}}$  (рис. 5, б).

В таблице приведены сводные технико-экономические данные по рассмотренным типам стен малоэтажных домов с использованием ЛСТК. Все рассмотренные типы ограждений имеют примерно одинаковое значение приведенного сопротивления теплопередаче  $R_{0, \text{пр}} = 5,25-5,37 \text{ м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт}$  и соответственно удельной потери теплоты 0,186–0,19  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{C})$ . При этом общая толщина теплоизоляционного слоя из минераловатных плит составила от 280 до 300 мм. Средняя температура на внутренней поверхности на всех рассматриваемых фрагментах стеновых ограждений нахо-

дится в допустимых пределах ( $t_{в} = +19,4^{\circ}\text{C}$ ). По результатам расчетов самая высокая минимальная температура установлена на участке расположения стального профиля стенового ограждения типа 4 с воздушной прослойкой с внутренней стороны и самая низкая по значению для ограждения типа 2. Дополнительная теплоизоляция с внутренней стороны в трехслойном стеновом ограждении служит барьером для прогрева стоечного профиля и тем самым способствует расположению изоляции с нулевой температурой ближе к внутренней поверхности стены. Эффективность утепления стеновых конструкций согласно значениям коэффициента теплотехнической однородности наиболее высокая для четвертого типа стенового ограждения.

Расчет затрат на возведение  $1 \text{ м}^2$  стенового ограждения выполнен для условий строительства каркасных домов в центральной части Якутии. Расчеты показывают, что наиболее экономичным является возведение двухслойного стенового ограждения типа 1. В многослойных стеновых конструкциях наиболее трудоемким и высокозатратным является устройство теплоизоляционного слоя внутри каркаса. Для достоверности технико-экономического сравнения отдельно рассмотрены удельные затраты, отнесенные к единице приведенного сопротивления. Удельные затраты

на возведение стеновых ограждений типов 1, 3 и 4 сопоставимы и составляют 1,12–1,16 тыс. р. Наиболее высокий показатель по затратам к единице приведенного сопротивления имеет стеновое ограждение 2.

Таким образом, проведенный анализ конструктивных решений стеновых ограждений малоэтажных домов из ЛСТК показал, что наиболее оптимальным с точки зрения обеспечения требуемых параметров по теплозащите зданий в условиях Крайнего Севера и удельным затратам на монтаж являются двухслойные стеновые ограждения. Для снижения воздухопроницаемости между слоями рекомендуется размещать плиты OSB и использовать минераловатные плиты повышенной плотности (не менее  $100 \text{ кг/м}^3$ ) в наружном слое. В двухслойных стеновых ограждениях наиболее эффективно принимать минимальную толщину внутреннего слоя исходя из несущей способности стального стоечного профиля и варьировать толщину наружного слоя для обеспечения нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче стенового ограждения. При этом необходимо обращать особое внимание на обеспечение целостности воздухопроницаемой оболочки здания, что очень важно в условиях повышенной инфильтрации воздуха в условиях Крайнего Севера.

#### Список литературы

1. Корнилов Т.А., Герасимов Г.Н. О некоторых ошибках проектирования и строительства малоэтажных домов из ЛСТК в условиях Крайнего Севера // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 3. С. 42–46.
2. Кузьменко Д.В., Ватин Н.И. Ограждающая конструкция «нулевой толщины» – термопанель // *Инженерно-строительный журнал*. 2008. № 1. С. 13–21.
3. Айрумян Э.Л. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутых стальных оцинкованных профилей производства ООО «Балт-Профиль». М.: ЦНИИПСК им. Мельникова. 2004. 69 с.
4. В. Файст. Основные положения проектирования пассивных домов. М.: АСВ. 2011. 148 с.
5. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Садчиков А.В., Мехнецов И.А. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях // *АВОК*. 2005. № 8. С. 60–70.
6. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Садчиков А.В. Учет продольной фильтрации воздуха при оценке теплозащиты стены с вентилируемым фасадом // *Промышленное и гражданское строительство*. 2005. № 6. С. 42–45.
7. Данилов Н.Д., Шадрин В.Ю., Павлов Н.Н. Прогнозирование температурного режима угловых соединений наружных ограждающих конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2010. № 4. С. 20–22.
8. Данилов Н.Д., Собакин А.А., Слободчиков Е.Г., Федотов П.А., Прокопьев В.В. Анализ формирования температурного поля наружной стены с фасадной железобетонной панелью // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 46–49.

#### References

1. Kornilov T.A., Gerasimov G.N. About some errors of design and construction of low houses from LSTK in the conditions of Far North. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 3, pp. 42–46. (In Russian).
2. Kuz'menko D.V., Vatin N.I. The protecting design of «the zero thickness» – the thermopanel. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2008. No. 1, pp. 13–21. (In Russian).
3. Airumyan E.L. Rekomendatsii po proektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhu konstruktсии karkasa maloetazhnykh zdaniy i mansard iz kholodnognutnykh stal'nykh otsinkovannykh profilei proizvodstva ООО «Balt-Profil'» [Recommendations about design, production and installation of designs of a framework of low buildings and penthouses from the holodnognutnykh of steel galvanized profiles of production of ООО «Balt-Profil'»]. Moscow: TsNIIPSK im. Mel'nikova. 2004. 69 p.
4. V. Fayst. Osnovnye polozheniya proektirovaniya passivnykh domov [Basic provisions of design of passive houses]. Moscow: ASV. 2011. 148 p.
5. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Sadchikov A.V., Mekhnetsov I.A. Longitudinal filtration of air in the modern protecting designs. *AVOK*. 2005. No. 8, pp. 60–70. (In Russian).
6. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Sadchikov A.V. The accounting of a longitudinal filtration of air at a wall heat-shielding assessment with the ventilated faade. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2005. No. 6, pp. 42–45. (In Russian).
7. Danilov N.D., Shadrin V.Yu., Pavlov N.N. Forecasting of temperature condition of angular connections of the external protecting designs. 2010. No. 4, pp. 20–22. (In Russian).
8. Danilov N.D., Sobakin A.A., Slobodchikov E.G., Fedotov P.A., Prokop'ev V.V. Analysis of Formation of Temperature Field of External Wall with Faade Reinforced Concrete Panel. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 11, pp. 46–49. (In Russian).

УДК 693.9: 699.841

Н.И. КАРПЕНКО, д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (niisf\_lab9@mail.ru),  
В.Н. ЯРМАКОВСКИЙ, канд. техн. наук, почетный член РААСН (yarmakovsky@yandex.ru)

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

## К нормированию физико-механических характеристик высокопрочных легких бетонов и методам расчета конструкций из них

*Представлен краткий аналитический обзор данных по нормированию конструкционных легких бетонов, в том числе высокопрочных и высокодолговечных, в отечественных и зарубежных нормативных документах. Обосновывается необходимость нормирования прочностных и деформативных характеристик, а также показателей долговечности таких бетонов, изготавливаемых не только на традиционном высокоэнергоемком керамзитовом гравии, но и на низкоэнергоемких, в основном безобжиговых, пористых заполнителях на основе продуктов переработки техногенных образований. Такое нормирование в действующем СП 63.13339.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» отсутствует, так же как и методы расчета конструкций из легких бетонов. В связи с этим обоснована необходимость создания свода правил по нормированию полного комплекса физико-механических характеристик конструкционных легких бетонов новых модификаций, в том числе высокопрочных и высокодолговечных, а также по современным методам расчета конструкций из таких бетонов, в частности по наиболее эффективному диаграммному методу построения физических соотношений для бетонных и железобетонных элементов при объемном напряженном состоянии.*

**Ключевые слова:** легкие бетоны, легкобетонные конструкции, физико-механические характеристики, нормируемые параметры, методы расчета конструкций.

N.I. KARPENKO, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Academician RAACS, (niisf\_lab9@mail.ru),  
V.N. YARMAKOVSKIY, Candidate of Sciences (Engineering), Honorary member of RAACS (yarmakovsky@yandex.ru)  
Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (RAACS)  
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### To the Standardization of Physical-Mechanical Properties of High-Strength Lightweight Aggregate Concrete and to the Calculation Methods of Structures Made of them

A brief analytical review of data on the structural lightweight concrete standardization, including high-strength and high-durable concretes, in domestic and foreign regulations is presented. The necessity of standardization of the strength and deformation characteristics as well as indicators of the durability of such concretes, produced not only with the use of traditional highly energy-intensive expanded clay gravel (type of claydite ceramizite), but by low power consumption (mostly without roasting) porous aggregates on the basis of by-products recycling is substantiated. This standardization in current Set of Rules 63.13339.2012 "Concrete and Reinforced Concrete Structures. The basic provisions. Revised edition of Construction Norm and Rules 52-01-2003" is missing, as well as the calculation methods of structures made of lightweight aggregate concrete. In this regard, the necessity of creating a "Set of Rules" for the standardization of a full range of physical-mechanical properties of structural lightweight aggregate concretes of new modifications, including high strength and high durable concretes, as well as on modern methods of calculation of constructions made of such concretes, in particular, on the most effective diagram method of physical relationships building or concrete and reinforced concrete elements under triaxial stress state is justified.

**Keywords:** lightweight aggregate concrete, structures, physical-mechanical properties, strength, deformability, durability, standardization, calculation methods.

Проблема действующего в настоящее время свода правил СП 63.13339.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» заключается в следующем. Данный нормативный документ составлен в части нормирования прочностных и деформативных характеристик, а также показателей долговечности ( $F$  и  $W$ ) конструкционных легких бетонов (КЛБ) практически без изменения в сравнении со СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции», а редакция последнего, в свою очередь, практически не отличается от редакции СНиП II-21-75 с таким же названием.

Эти нормативные документы составлены на базе отечественных разработок по конструкционным легким бетонам 30–40-летней давности и, по существу, на базе разработки только одного вида КЛБ, а именно изготавливаемого на ос-

нове высокоэнергоемкого в производстве керамзита (около 100 кг усл. топл. на 1 м<sup>3</sup>). К тому же класс по прочности при сжатии этих бетонов не выше В30 (в первом из вышеназванных изданий СНиП) и до В40 вкл. (в последующих изданиях).

В то же время рядом отечественных НИИ и НПО за последние 20–25 лет разработана номенклатура нового класса пористых заполнителей для КЛБ – низкоэнергоемких в производстве, в основном безобжиговых, на основе продуктов переработки многотоннажных техногенных образований (черной металлургии и топливной энергетики) [1].

Энергозатраты на производство таких заполнителей, которые производятся уже в промышленном масштабе или на опытно-промышленных установках, почти на порядок ниже, чем на производство высокоэнергоемкого керамзитового гравия.





*Рис. 1. Плавающая платформа Heidrun для добычи нефти, установленная на глубине 300 м в норвежском секторе Северного моря. Все элементы конструктивного каркаса платформы выполнены из легкого бетона класса по прочности LC60 (B70 – по ГОСТ 25820)*

Например, наиболее эффективны заполнители следующих видов:

– пористый гравий с остеклованной оболочкой, производимый из шлаковых расплавов текущего выхода доменного производства, а также из расплавов ферросплавного производства (силикомарганца, ферромарганца);

– безобжиговый зольный гравий, производимый первоначально с использованием портландцемента для связывания частиц золы-уноса, а затем с использованием мелкозернистого композиционного вяжущего, изготовляемого на основе той же золы-уноса ТЭС при совместном помолу компонентов в присутствии суперпластификатора.

Выше и другие технико-экономические показатели заполнителей этих новых модификаций, а также основные показатели качества, в частности выше прочность, ниже водопоглощение (практически при той же плотности зерна); ниже межзерновая пустотность, что обеспечивает значимо меньший расход цемента для КЛБ и, соответственно, меньшую плотность бетона практически при той же прочности при сжатии и пр.

Тем не менее новые модификации КЛБ, изготовляемых на основе высококачественных и низкоэнергоемких пористых заполнителей новых видов, не включены в новый Свод правил СП 63.13330.2012, несмотря на имеющийся значительный объем исследований, выполненных по определению нормируемых прочностных и деформативных характеристик КЛБ этих модификаций классов до B40 вкл., определенных при действии нагрузок различных видов [2].

Основные показатели долговечности бетонов в главе 6 СП 63.13330.2012 нормируются в настоящее время следующим образом:

– марки по морозостойкости тяжелых бетонов на плотных природных заполнителях – до F1000 вкл., а легких бетонов на пористых заполнителях – до F500 вкл.;

– марки по водонепроницаемости тяжелых бетонов – до W20 вкл., а конструктивных легких бетонов – до W12 вкл.

В то же время анализ многочисленных зарубежных [3–5] и отечественных [6] исследований показывает существенно более высокие показатели морозостойкости и водонепрони-

цаемости КЛБ в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами. Об этом свидетельствует и мировой опыт применения именно высокопрочных (классов по прочности при сжатии до B60 вкл.) легких бетонов с высокими показателями долговечности для конструкций сооружений, эксплуатируемых в суровых климатических условиях. Обоснование такого преимущества КЛБ с позиций физикохимии силикатов и анализа макро- и микроструктуры таких бетонов в сравнении с равнопрочным тяжелым бетоном приведено в работе [7].

Так, например, в зарубежной практике морского гидротехнического строительства вынуждены были прекратить с 1995 г. применение высокопрочного тяжелого бетона в конструкциях платформ для добычи нефти в северных приливных морях в целях повышения надежности таких конструкций в эксплуатации. Взамен тяжелого бетона начали применять легкий бетон классов B50–B60 [8], марка по морозостойкости которого достигает F1500, а марка по водонепроницаемости – W20 (рис. 1).

Далее целесообразно сказать, что уже почти два десятилетия действуют нормативные документы Международной федерации по конструкционному бетону – Joint CEB/FIP (fib) [9, 10] и Европейские нормы по бетону – CEB, в частности Eurocode 2 (Chapter 11. Lightweight Aggregate Concrete) [11]. В этих документах нормируются прочностные и деформативные характеристики, а также показатели долговечности КЛБ, в том числе высокопрочных, классов до LC80 (минимальная кубиковая прочность 88 МПа), при использовании пористых заполнителей различных видов, преимущественно из отходов промышленности.

Нормирование высокопрочных и высокодолговечных легких бетонов за рубежом введено уже около 20 лет назад в целях обеспечения использования таких бетонов как более эффективных в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами (см. обзорную таблицу сравнения в статье [2]) в таких ответственных инженерных сооружениях, как мосты с протяженными главными пролетами – до 300 м (рис. 2), а также морские гидротехнические сооружения, в частности конструкции платформ для добычи нефти и газа в северных приливных морях (рис. 1).

Высокопрочные легкие бетоны как более эффективные в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами стали уже более 20 лет назад применять и в конструктивной системе высотных зданий (рис. 3). Эффективность эта обусловлена следующими основными факторами [2]:

– снижением массы конструктивной системы здания (КСЗ) почти на 1/3, соответственно снижением требуемого расхода стальной арматуры в среднем на 15% и сокращением возможных расходов на укрепление оснований зданий;

– снижением энергозатрат на изготовление элементов конструктивной системы здания в связи с использованием в легких бетонах в подавляющем большинстве низкоэнергоемких в производстве пористых заполнителей – продуктов переработки многотоннажных техногенных образований, (в основном металлургии и тепловой энергетики);

– повышением пожарной безопасности здания, обусловленным тем, что предел огнестойкости несущих конструкций из легких бетонов выше как минимум на 1/3 в сравнении с аналогичными конструкциями из тяжелого бетона.

Исходя из вышеизложенного целью исследований, результаты которых представлены в работе [7], являлась на первом этапе разработка физико-химических и структурно-технологических основ получения высокопрочных (классов



**Рис. 2.** Мост Stolmen (Норвегия) построен в 1998 г. (главный пролет 301 м). Центральная часть пролета 184 м выполнена из высокопрочного конструкционного легкого бетона на HF Леса 800;  $\rho = 1940 \text{ кг/м}^3$ ;  $R_{28} = 70,4 \text{ МПа}$

по прочности на сжатие до В60 вкл.) легких бетонов с высокими показателями долговечности:

- марками по морозостойкости до F1500 вкл., марками по водонепроницаемости – до максимально нормируемой в СП 28.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 2.03.11–85» – W20;

- высокой сопротивляемостью к проникновению ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , содержащихся в морской воде, что опасно с позиций, соответственно, коррозии стальной арматуры в железобетонных конструкциях и сульфатной коррозии бетона.

Результаты этих исследований использовались авторами настоящей статьи для разработки оптимальных (по критериям минимального значения плотности бетона в сухом состоянии и минимального значения расхода цемента) составов высокопрочных легких бетонов. Затем определялись нормируемые прочностные и деформативные характеристики таких бетонов с оптимальными составами и показатели их долговечности в целях разработки в дальнейшем свода правил по проектированию конструкций из легких бетонов в развитие действующего СП 63.13330.2012.

Анализ полученных данных по нормируемым прочностным и деформативным характеристикам легких бетонов новых модификаций, в том числе высокопрочных, в сравнении с равнопрочными тяжелыми бетонами показывает следующее:

- значения нормативных сопротивлений осевому сжатию (призменная прочность –  $R_{\text{бн}}$ ) и осевому растяжению ( $R_{\text{бнт}}$ ) конструкционных легких бетонов классов по прочности до В60 вкл., изготовленных на основе остеклованного пористого шлакового гравия (шлакостеклогранулята – ШСГ) марок по прочности П400–П600, а также на основе безобжигового зольного гравия (БЗГ) тех же марок по прочности при использовании в качестве мелкого заполнителя плотного песка практически не отличаются, как и в действующем СП 63.13330.2012, от аналогичной характеристики равнопрочного тяжелого бетона;

- значения начальных модулей упругости ( $E_b$ ) конструкционных легких бетонов классов по прочности до В60 вкл., изготовленных на основе остеклованного пористого шлакового гравия (шлакостеклогранулята) марок по прочности П400–П600, а также на основе безобжигового зольного гравия (БЗГ) тех же марок по прочности ниже в сравнении с равнопрочным тяжелым бетоном всего на 6–9% при марке по плотности легкого бетона соответственно D1800–D1950, в отличие от нормативов действующего СП, где модуль упругости традиционного (на керамзите) КЛБ класса В40 даже при использовании в качестве мелкого заполнителя плотного кварцевого песка значительно (до 30%) ниже, чем



**Рис. 3.** Здание высотой 276 м (г. Торонто, Канада) с несущими конструкциями из легких бетонов классов В30–В60, изготовленных на пористом шлаковом заполнителе (pelletized slag) – аналоге пористого гравия с остеклованной оболочкой (шлакостеклогрануляте) – продукте переработки шлаковых расплавов доменного производства Новолипецкого металлургического комбината. Вяжущее – высокомарочный шлакопортландцемент

у равнопрочного тяжелого бетона; такое преимущество КЛБ новых модификаций можно объяснить существенно более близким к единице соотношением  $E_{\text{зап}}/E_{\text{рч}}$  (здесь  $E_{\text{зап}}$  – модуль упругости зерна заполнителя, а  $E_{\text{рч}}$  – модуль упругости затвердевшей растворной части бетона); кроме того, это может быть обусловлено существенно более плотной и прочной зоной контакта с цементной матрицей зерен ШСГ и БЗГ в сравнении с зерном керамзитового гравия, что обеспечивается за счет более интенсивного химического взаимодействия минералов зерен этих заполнителей с минералами цементного камня [7].

Испытания образцов КЛБ классов по прочности В40–В60 оптимальных составов, изготовленных на основе пористых заполнителей новых модификаций самых эффективных видов (ШСГ и БЗГ), на морозостойкость (по первому базовому методу ГОСТ 10060–2012) показали, что марка по морозостойкости их составляет соответственно не менее F1000–F1500, что намного выше, чем у равнопрочного тяжелого бетона на природных плотных заполнителях. Испытания КЛБ тех же классов с теми же оптимальными составами на водонепроницаемость по ГОСТ 12730.5–84 показали, что марка по водонепроницаемости КЛБ на пористых заполнителях вышеуказанных модификаций составляет соответственно W16–W20.

Такие преимущества в показателях долговечности равнопрочных (в том числе и высокопрочных) КЛБ новых модификаций в сравнении с равнопрочным тяжелым бетоном находятся в противоречии с нормированием их в действующем СП. Объяснения этому приведены с позиций физикохимии силикатов, состояния контактной зоны в бетонах, поровой структуры их растворной части, различия в коэффициентах температурно-линейного расширения компонентов бетонов и т. п. приведены в работе [7]. Таким образом,

требуется соответствующая корректировка норм СП в части показателей долговечности КЛБ.

Вышеизложенное описание картины нормирования конструкционных легких бетонов в действующем СП 63.13330.2012 выявляет существенные его недостатки, что требует значительной принципиальной корректировки практически всех указанных выше нормируемых параметров КЛБ. *Соответствующие предложения по техзаданию ФАУ ФЦС Минстроя РФ заключенного с НИИСФ в 2015 г. контракта по теме 8.6.2.3 «Определение нормируемых параметров легких бетонов новых модификаций, в том числе высокопрочных, класса до В60 повышенной долговечности» составлены в НИИСФ. Научно-технический отчет по данной теме рассмотрен в конце 2015 г. и одобрен учеными советами РААСН и МГСУ.*

К этому следует добавить, что действующий СП 63.13330.2012 практически не содержит рекомендуемые методы расчета легкобетонных конструкций. *НИИСФ пред-*

*лагается использовать для расчетов стержневых, плоскостных и массивных конструкций с применением КЛБ новых модификаций, в том числе высокопрочных, разработанные институтом наиболее эффективные диаграммные методы построения физических соотношений для бетонных и железобетонных элементов, при различных напряженных состояниях (одноосных, плоских и объемных).*

#### Выводы.

В целях обеспечения эффективного использования разработок по конструкционным легким бетонам новых модификаций, в том числе высокопрочных и высокодолговечных в эксплуатации, при проектировании ответственных инженерных сооружений и высотных зданий с повышенными требованиями по надежности в эксплуатации требуется разработка «Руководства или свода правил по проектированию конструкций различных видов и назначения из легких бетонов новых модификаций, в том числе высокопрочных и высокодолговечных».

#### Список литературы

1. Петров В.П., Макридин Н.И., Соколова Ю.А., Ярмаковский В.Н. Технология и материаловедение пористых заполнителей и легких бетонов. Монография. М.: Изд. «Палеотип»: РААСН, 2013. 332 с.
2. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Конструкционные легкие бетоны новых модификаций // *Российский строительный комплекс*. 2011. № 10. С. 122–126.
3. Hoff G.C. The use of structural lightweight aggregates in offshore concretes platforms // *Proceeding of the International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete*. Sandefjord. Norway. 20-24 June, 1995, pp. 363–371.
4. Spitzner J. A review of the development of lightweight aggregate concrete – history and actual survey // *Proceeding of the International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete*. Sandefjord. Norway. 20–24 June, 1995, pp. 13–21.
5. Design and Control of Concrete. The Guide to Application, Methods and Materials. Eight Canadian Edition by S. Kosmatka, B. Kerkoff and other // *Cement Association of Canada. Engineering Bulletin*. Ottawa. 2011. 411 p.
6. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // *Академия*. 2014. № 4. С. 72–82.
7. Ярмаковский В.Н. Физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 6–11.
8. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Конструкционные легкие бетоны для нефтедобывающих платформ в северных приливных морях и морях Дальнего Востока // *Вестник инженерной школы ДВФУ*. 2015. № 2. С. 105–114.
9. Lightweight Aggregate Concrete. Codes and standards. State-of-art report, bulletin 4. CEB-FIP (fib, Task Group 8G LAC). Stuttgart. 1999. 35 p.
10. Lightweight Aggregate Concrete (LAC). Recommended extensions to Model Code 90, Guide. Identification of research needs, technical report. Case Studies, State-of-art report, CEB-FIP (fib, Task Group 8G LAC). Stuttgart. 2000. 465 p.
11. Eurocode-2. Concrete and Reinforced Concrete Structures. Chapter 11. «Lightweight Aggregate Concrete Structures». CEN. Stuttgart. 2002, pp. 51–73.

#### References

1. Petrov V.P., Makridin N.I., Sokolova Yu.A., Yarmakovskiy V.N. *Tekhnologiya i materialovedenie poristyx zapolniteley i legkikh betonov*. Monografiya [Technology and Materials Porous aggregates and lightweight concrete. Monograph]. M.: "Paleotip": RAACS. 2013. 332 p.
2. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. Structural lightweight concrete new modifications. *Rossiiskiy stroitel'nyi kompleks*. 2011. No. 10, pp. 122–126. (In Russian).
3. Hoff G.C. The use of structural lightweight aggregates in offshore concretes platforms. *Proceeding of the International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete*. Sandefjord. Norway. 20-24 June, 1995, pp. 363–371.
4. Spitzner J. A review of the development of lightweight aggregate concrete – history and actual survey. *Proceeding of the International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete*. Sandefjord. Norway. 20-24 June, 1995, pp. 13–21.
5. Design and Control of Concrete. The Guide to Application, Methods and Materials. Eight Canadian Edition by S. Kosmatka, B. Kerkoff and other. *Cement Association of Canada. Engineering Bulletin*. Ottawa. 2011. 411 p.
6. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. About modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures. *Akademiya*. 2014. No. 4, pp. 72–82. (In Russian).
7. Yarmakovskiy V.N. To the Standardization of physical-mechanical properties of high strength lightweight aggregate concrete and to the calculation methods of structures made of them. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 6–11. (In Russian).
8. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. Structural lightweight concrete to oil platforms in the North Sea tidal and seas of the Far East. *Vestnik inzhenernoi shkoly DVFU*. 2015. No. 2, pp. 105–114.
9. Lightweight Aggregate Concrete. Codes and standards. State-of-art report, bulletin 4. CEB-FIP (fib, Task Group 8G LAC). Stuttgart. 1999. 35 p.
10. Lightweight Aggregate Concrete (LAC). Recommended extensions to Model Code 90, Guide. Identification of research needs, technical report. Case Studies, State-of-art report, CEB-FIP (fib, Task Group 8G LAC). Stuttgart. 2000. 465 p.
11. Eurocode-2. Concrete and Reinforced Concrete Structures. Chapter 11. «Lightweight Aggregate Concrete Structures». CEN. Stuttgart. 2002. pp. 51–73.



УДК 678.5+699.86 (571.56)

Е.Г. СЛОБОДЧИКОВ, инженер (egor-sakha@mail.ru),  
А.Е. МЕСТНИКОВ, д-р техн. наук

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова  
(677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58)

## Энергоэффективность индивидуальных домов на основе пенобетона в условиях Якутии

Приведены результаты натурных обследований индивидуальных домов, построенных с использованием новых технических решений устройства фундаментов на вечномерзлых грунтах и конструкции стеновых ограждений на основе различных модификаций пенобетона. Установлены преимущества ограждающих конструкций из пенобетона перед традиционными стенами из цельнодеревянных материалов по значениям удельного энергопотребления зданий в самый холодный зимний период. Уточнены направления дальнейших исследований в области снижения энергопотребления за счет использования нетрадиционных энергосберегающих мероприятий.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, ограждающие конструкции, пенобетон.

E.G. SLOBODCHIKOV, Engineer (egor-sakha@mail.ru), A.E. MESTNIKOV, Candidate of Sciences (Engineering)  
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University (58, Belinsky Street, Yakutsk, 677000, Russian Federation)

### Energy Efficiency of Individual Houses on the Basis of Foam Concrete in Conditions of Yakutia

Results of the on-site inspection of individual houses built with the use of new technical solutions for foundations construction on permafrost soils and design of wall enclosures on the basis of various modification of foam concrete are presented. Advantages of enclosing structures made of foam concrete before the traditional walls made of solid wood materials for values of the specific energy consumption of buildings at the coldest winter period have been established. Ways of the further study in the field of energy consumption due to the use of non-traditional energy saving measures are clarified.

**Keywords:** energy efficiency, enclosing structures, foam concrete.

Основные принципы проектирования и строительства энергоэффективных зданий известны и направлены на снижение энергопотребления за счет применения ограждающих конструкций с высоким уровнем тепловой защиты, рациональных архитектурно-планировочных решений, современных систем отопления, вентиляции и подогрева воды, использования альтернативных источников энергии. Экономическое обоснование при принятии решения об энергосберегающем мероприятии, в частности о повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий, в настоящее время является обязательным [1–3]. Но это требование практически не выполняется в частном секторе. Превалирующее большинство индивидуальных застройщиков предпочитают строить жилые дома из цельнодеревянных материалов (бруса, лафета, оцилиндрованной древесины), в основном без дополнительной теплоизоляции [4, 5]. Для оценки энергопотребления и целесообразности тех или иных энергосберегающих мероприятий в индивидуальных домах организовано экспериментальное малозатражное строительство с применением различных модификаций пенобетона [6–8] и ведется мониторинг состояния строительных конструкций и тепловлажностного режима их эксплуатации.

Основные характеристики района обследования по данным СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»: температура холодного периода составляет  $-52^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура отопительного периода  $-20,6^{\circ}\text{C}$ ; продолжительность отопительного периода 252 сут; среднегодовая скорость ветра 1,9 м/с; среднегодовая влажность воздуха 72%. Коли-

чество градусо-суток отопительного периода согласно расчетам по СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» составляет  $10231,2^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ . Фактическая динамика изменения температуры наружного воздуха приведена на рис. 1.

Наружные стены обследуемых четырех индивидуальных домов (рис. 2) в с. Аппаны Намского района Республики Саха (Якутия) представляют собой деревянно-каркасные конструкции, обшитые с двух сторон стекломagnesитовыми листами (СМЛ) и заполненные двуслойной теплоизоляцией из пенополистирольных плит и монолитного теплоизоляционного пенобетона плотностью  $250\text{--}300\text{ кг/м}^3$  (патенты РФ № 2211898 и 119769). Общая площадь за-

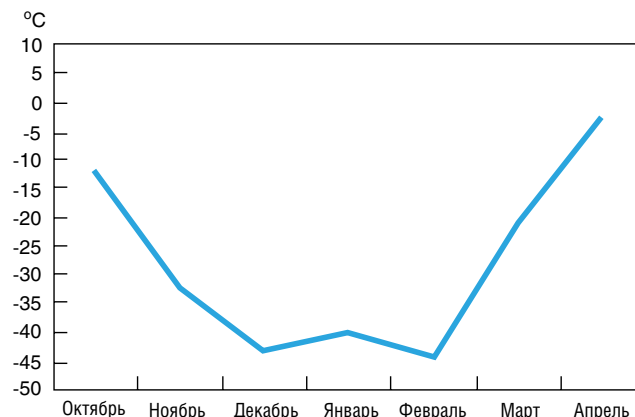


Рис. 1. Динамика изменения температуры наружного воздуха в Якутске в зимний период 2015–2016 гг.



Рис. 2. Фасад жилого дома № 2 в с. Анпаны

стройки одного жилого дома составляет  $108,8 \text{ м}^2$ , включая отапливаемую площадь  $98,2 \text{ м}^2$ , в том числе площадь котельной  $8,6 \text{ м}^2$ . Технические решения и технология строительства были описаны в статье [9]. Требуемое значение приведенного сопротивления теплопередаче стены составляет  $5,13 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , а если применить потребительский подход по СНиП 23-02–2003, то допускается его снижение до  $3,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

В связи с освоением серийного производства стеновых блоков из пенобетона автоклавного твердения марки D500 (B1,5, F35) в учебно-научно-производственной базе СВФУ появилась возможность продвижения на строительный рынок нового для Якутии материала, обладающего достаточными прочностными и высокими теплозащитными характеристиками [10]. Летом 2015 г. построен индивидуальный жилой дом с совмещенным гаражом (рис. 3) в пригороде Якутска на территории СОТ «Мечта». Общая площадь застройки составляет  $108,8 \text{ м}^2$ , включая пристроенный гараж с котельной  $54,6 \text{ м}^2$ . Наружные стены возведены кладкой пеноблоков на клей. Для малоэтажного каменного строительства в условиях вечномерзлых грунтов авторами предложены и используются буронабивные малозаглубленные сваи с уширенной опорой, возводимые по технологии ТИСЭ, что успешно используется в районах с сезонным промерзанием грунтов [11]. В данном случае, как и в строительстве легких деревянно-каркасных жилых домов, применили принцип теплоизолированных фундаментов, что обеспечивает сохранение устойчивости вечномерзлых грунтов на весь период эксплуатации (СНиП 2.02.04–88 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах») при использовании ленточного (патент РФ № 137036) или свайного малозаглубленного (патент РФ № 148793) железобетонного фундамента на подсыпке, уплотненной гравием, за счет устройства теплоизоляционного и грунтового слоев под зданием. Учитывая тот факт, что теплое время года очень короткое, важной становится организация своевременного подключения и запуска системы отопления на первичном этапе строительства, т. е. без дополнительной теплоизоляции и отделки наружных ограждений. Достаточные теплозащитные качества наружной стены из автоклавного пенобетона толщиной  $0,3 \text{ м}$  позволили запустить тепло в доме осенью того же года.



Рис. 3. Жилой дом с совмещенным гаражом (СОТ «Мечта»)

В 2015 г. также введен в эксплуатацию второй двухэтажный жилой дом (рис. 4) из пеноблоков автоклавного твердения с мансардным этажом в Якутске, площадь составляет  $358,7 \text{ м}^2$ , включая гараж с котельной  $9,7 \text{ м}^2$ . Дом отличается тем, что построен по всем требованиям современных нормативных документов для условий Якутска и представлен в монолитно-каркасном железобетонном варианте на сваях глубиной заложения  $6 \text{ м}$ . Наружные стены выложены из пеноблоков толщиной  $0,3 \text{ м}$  на клей и дополнительно теплоизолированы пенополистирольными плитами толщиной  $0,1 \text{ м}$ .

Натурные исследования по оценке теплового режима рассматриваемых жилых домов проводились с начала отопительного сезона 2015–2016 гг. В указанный период проведено несколько циклов измерений. Для измерения температуры и влажности внутреннего воздуха в помещениях использовались данные пирометра CENTER 350, измеряющего температуру на поверхности оборудования трубопроводов и ограждающих конструкций, прибора Testo 435-4 для определения относительной влажности и температуры воздуха и электронного анемометра CFM 890 для определения скорости и температуры потока воздуха в помещении



Рис. 4. Двухэтажный жилой дом в монолитно-каркасном исполнении в Якутске



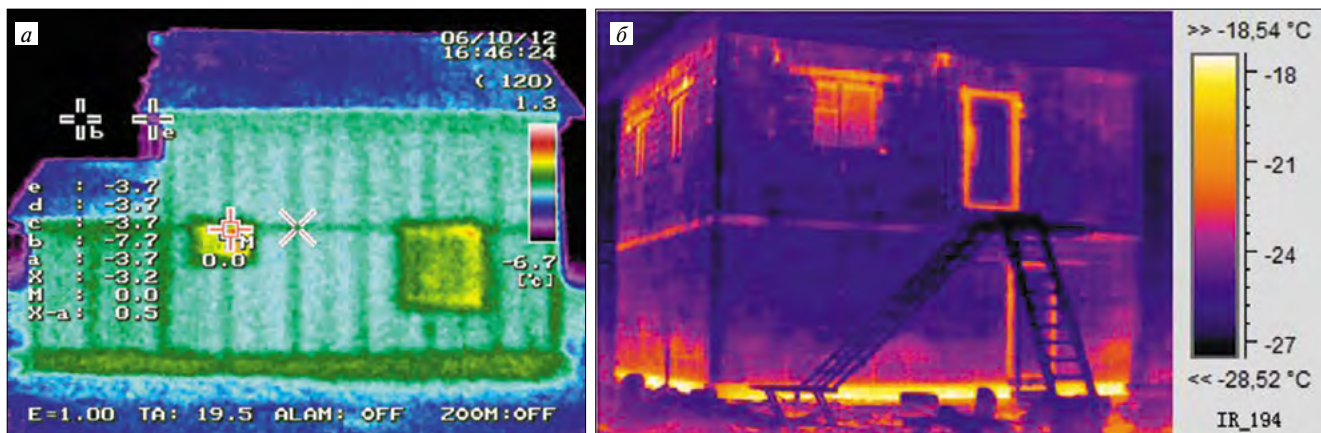


Рис. 5. Тепловизионные снимки фасада: а – жилого дома № 2; б – жилого дома в СОТ «Мечта»

в режиме реального времени. Тепловизором G-90 проводились съемки ограждающих конструкций и строительных элементов здания для определения качества монтажа теплоизоляции, возможных изменений, произошедших в ней за период эксплуатации, а также выявления потерь тепла через дефекты в строительных конструкциях (рис. 5, а, б). Проанализированы данные по расходу природного газа в соответствии с показаниями приборов учета.

Инструментальный мониторинг температурно-влажностных режимов объекта обследования произведен выборочно в соответствии с требованиями ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Внутренняя температура воздуха в экспериментальных жилых домах составляет от 17,5 до 24,5°C при температуре наружного воздуха -23 и -34,5°C соответственно, что отвечает оптимальным и допустимым нормам. В жилом доме в СОТ «Мечта» зафиксирована температура ниже нормируемых показателей. Скорость воздуха в помещениях колеблется от 0,022 до 0,038 м/с.

Для оценки эффективности работы систем отопления проведен инструментальный контроль радиаторов в жилых помещениях. Средняя температура отопительных приборов в октябре составляла 35–37°C и в декабре – 54–56°C (с. Аппаны), а также 27 и 56°C соответственно (СОТ «Мечта»), что в целом подтверждает соответствие температурного графика тепловому режиму здания.

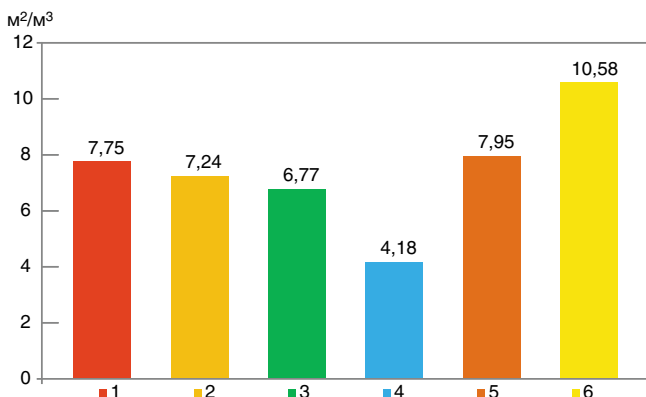


Рис. 6. Средний удельный расход газа в обследуемых домах за ноябрь–январь: 1 – дом № 2 в с. Аппаны; 2 – дом № 4 в с. Аппаны; 3 – дом в монолитно-каркасном исполнении; 4 – дом в СОТ «Мечта»; 5 – деревянный дом с утеплением; 6 – деревянный дом без теплоизоляции

Расчет расхода природного газа на отопление и приготовление горячей пищи в жилых зданиях произведен на основании квитанций за пользование природным газом и данных газовых счетчиков на узле ввода.

Анализ полученных данных показал, что средний расход газа в сутки в домах варьируется от 8,7 до 69 м³ в зависимости от строительного объема. Для сравнительного анализа в динамике среднесуточного расхода также рассмотрены дома из деревянного бруса толщиной 180 мм с утеплением и без теплоизоляции.

Удельный расход газа на отопление и бытовые расходы жилого дома из деревянного бруса за рассматриваемый период составил более 10,58 м³ газа на один отапливаемый объем здания, у пенобетонных домов данные показатели варьируются от 4–7,7 м³. Таким образом, фактический расход газа на отопление и бытовые нужды домов из монолитного и автоклавного пенобетона при сравнении с домами деревянной постройки на единицу строительного объема меньше в 1,4 и 2,5 раза соответственно.

Наибольшее потребление газа наблюдается в декабре, что обусловлено понижением наружной температуры воздуха и высокой инфильтрацией. При этом результаты удельного энергопотребления по жилому дому из автоклавного пенобетона в СОТ «Мечта» являются не вполне достоверными для сравнительного анализа, так как в доме была зафиксирована температура ниже нормируемых параметров микроклимата, бытовое потребление газа отсутствовало.

По результатам тепловизионного обследования выявлены дефекты теплоизоляции в отдельных элементах и сопряжениях ограждающих конструкций. Имеются тепловые потери через стыки входных дверей, угловых и кладочных соединений наружных стен.

Система отопления и водоснабжения зданий за отопительный период работала без перебоев. Наблюдалась остановка вытяжной системы вентиляции из-за обледенения воздуховода. Микроклимат в большинстве зданий соответствует требуемым параметрам.

Предварительные результаты обследования показали высокую энергетическую эффективность жилых домов на основе пенобетона (монолитного теплоизоляционного марки D300 и пеноблоков автоклавного твердения марки D500) по сравнению с фактическими показателями расходов тепловой энергии на отопление жилых домов обычной деревянной постройки.

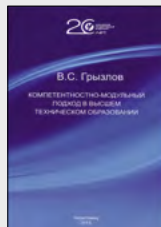
### Список литературы

1. Гагарин В.Г. Экономический анализ повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 41–47.
2. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // *Строительные материалы*. 2010. № 3. С. 8–16.
3. 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.
4. Чунтонов В.С. Экодом – выбор эффективных решений // *Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием*. Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН. 2015. С. 55–64. [http://www.itp.nsc.ru/conferences/mzhz\\_2015](http://www.itp.nsc.ru/conferences/mzhz_2015) (дата обращения 09.06.2016 г.).
5. Сазонова Т.В., Казаков Д.С. Малоэтажное строительство. Проблемы и решения // *Вестник УГУЭС. Наука. Образование. Экономика. Серия: Экономика*. 2014. № 1. С. 194–198.
6. Румянцев Б.М., Критасаров Д.С. Пенобетон. Проблемы развития // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2002. № 1. С. 14–16.
7. Лундышев И.А. Малоэтажное строительство с комплексным использованием монолитного неавтоклавно пенобетона // *Строительные материалы*. 2005. № 7. С. 31.
8. VI Международная научно-практическая конференция Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавно твердения // *Строительные материалы*. 2010. № 7. С. 6–10.
9. Кардашевский А.Г., Рожин В.Н., Местников А.Е., Семенов С.С. Монолитный пенобетон в индивидуальном строительстве // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 1. С. 41–43.
10. Местников А.Е., Семенов С.С., Федоров В.И. Производство и применение пенобетона автоклавно твердения в условиях Якутии // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 12-3. С. 490–494. <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39567> (дата обращения 09.06.2015 г.).
11. Яковлев Р.Н. Универсальный фундамент. Технология ТИСЭ. М.: Аделант. 2006. 271 с.
12. *residential buildings: Materials of the All-Russian scientific conference with the international participation*. Novosibirsk: Institut teplofiziki SO RAN. 2015, pp. 55–64. [http://www.itp.nsc.ru/conferences/mzhz\\_2015](http://www.itp.nsc.ru/conferences/mzhz_2015) (date of access 09.06.2016). (In Russian).
13. Sazonova T.V., Kazakov D.S. Low construction. Problems and decisions. *Vestnik UGUES. Nauka. Obrazovanie. Ekonomika. Seriya: Ekonomika*. 2014. No. 1, pp. 194–198. (In Russian).
14. Rumyantsev B.M., Kritisarov D.S. Foam concrete. Development problems. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2002. No. 1, pp. 14–16. (In Russian).
15. Lundyshev I.A. Low construction with complex use of monolithic not autoclave foam concrete. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2005. No. 7, pp. 31. (In Russian).
16. VI International scientific and practical Experience of Production and Use of Cellular Concrete of Autoclave Curing conference. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2010. No. 7, pp. 6–10. (In Russian).
17. Kardashevskiy A.G., Rozhin V.N., Mestnikov A.E., Semenov S.S. Monolithic foam concrete in individual construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 1, pp. 41–43. (In Russian).
18. Mestnikov A.E., Semenov S.S., Fedorov V.I. Production and use of foam concrete of autoclave curing in the conditions of Yakutia. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 12–3, pp. 490–494. <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39567>. (date of access 09.06.2015). (In Russian).
19. Yakovlev R.N. Universal'nyi fundament. *Tekhnologiya TISE [Universal base. TISE technology]*. Moscow: Adellant. 2006. 271 p.

### References

1. Gagarin V.G. Macroeconomic Aspects of Substantiation of Power Saving Measures Aimed at Improving the Heat Protection of Buildings' Enclosing Structures. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2010. No. 3, pp. 8–16. (In Russian).
2. Gagarin V.G. Macroeconomic Aspects of Substantiation of Power Saving Measures Aimed at Improving the Heat Protection of Buildings' Enclosing Structures. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2010. No. 3, pp. 8–16. (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. Chuntonov V.S. The ecohouse – the choice of effective decisions. *The Power and resursoeffektivnost of low*

## Компетентностно-модульный подход в высшем техническом образовании



Монография  
Автор **В.С. Грызлов**  
Череповец: ЧГУ, 2015. 208 с.

В монографии систематизированы методологические и прикладные аспекты компетентностно-модульной технологии в высшем техническом образовании. Методология разработана на базе направления 08 «Строительство» и включает бакалавриат, магистратуру и аспирантуру. Особое внимание уделено вопросам проектирования кредитно-модульной структуры основной образовательной программы, разработке учебных планов, оценке их качества и сбалансирования. В программе прикладного бакалавриата предлагается к внедрению сквозное курсовое проектирование как элемент инновационной программы инженерного образования CDIO.

Приводятся рекомендации по новой форме аттестации студентов с целью оценки освоения компетенций и их привязки к будущим профессиональным функциям выпускника вуза. Предлагается структура сбалансированных показателей выпускающей кафедры как стратегии превращения ее из центра затрат в центр доходов и повышения качества образовательной среды.

Затрагиваются вопросы корпоративного взаимодействия вуза, субъекта РФ и бизнес-сообщества, представляющие собой базовый кластер по развитию региональной кадровой политики.

Издание предназначено для преподавателей вузов, а также для всех участников образовательного процесса, заинтересованных в развитии практико-ориентированного, компетентностного подхода в высшем образовании.

**[gryvs@mail.ru](mailto:gryvs@mail.ru)**

УДК 621.313.333

А.А. ЦАРЕВ, канд. хим. наук, координатор исследований и разработок  
Компания «Сен-Гобен» (107061, Москва, Преображенская пл., 8)

## Параметры комфорта жилой среды на примере мультикомфортного здания «Академия Сен-Гобен»

*Рассматривается опыт мониторинга энергоэффективного офисного здания «Академия Сен-Гобен». Описаны факторы, влияющие на ощущение уровня комфорта: акустический комфорт, освещенность, тепловой комфорт, качество воздуха в помещении. Выявлены зависимости между эмоциональной оценкой качества среды и количественными показателями, полученными инструментальными методами. Сделан вывод о том, что для обеспечения повышенного уровня комфорта необходимо нахождение компромисса между рядом параметров, основанном на научном подходе.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, мультикомфортный дом, комфорт, «Академия Сен-Гобен», система мониторинга.

A.A. CAREV, Candidate of Sciences (Chemistry)  
General Delegation in Russia, Ukraine and CIS countries (8, Preobrazhenskaya Square, Moscow, 107061, Russian Federation)

### The Parameters of Comfort Living Environment on the Example of Multi-Comfort Building "Academy of Saint-Gobain"

In the article comfort assessment of energy-efficient office building «Academy» of Saint-Gobain is discussed. The factors affecting the comfort level: acoustic comfort, lighting, thermal comfort, indoor air quality as well as relationship between the emotional evaluation of environmental quality and indicators, obtained by instrumental methods are described. The conclusion was notes that to ensure high level of comfort it is needed to find a compromise, based on serious scientific approach, between a number of certain parameters.

**Keywords:** energy efficiency, multi-comfort house, comfort, Academy Saint-Gobain, the monitoring system.

Важность обеспечения комфорта внутри помещения трудно переоценить: по статистике, современный человек проводит более 90% времени в зданиях: дома, в офисе, в школе, больнице и пр. Поэтому при обсуждении параметров комфорта основное внимание уделяется качеству среды помещений, что является важнейшим параметром уровня жизни [1].

Требования, предъявляемые обществом к качеству жизни, все время возрастают. Накапливаемые ожидания людей в улучшении жилой среды лежат в области различных научных дисциплин: строительной физики, акустики, архитектуры, физиологии, психологии, социологии, гигиены и пр. Комфорт является интегральной характеристикой, учитывающей как измеряемые показатели качества помещения, так и эмоциональные, социологические факторы, отражающие настроение и психическое состояние потребителя. При этом справедливо и обратное утверждение, что уровень комфорта влияет на настроение и психологическое состояние человека. Справедливости ради следует упомянуть, что культурные различия человеческих групп приводят к тому, что условия среды, ощущаемые комфортными для одних, считаются абсолютно неприемлемыми и некомфортными для других.

Средний, оцениваемый большинством потребителей в России уровень комфорта достаточно изучен и нашел отражение в соответствующих нормативных документах. Эти требования используются при проектировании и строительстве зданий для обеспечения безопасного проживания граждан.

Однако уровень повышенного комфорта является недостаточно изученной областью. Связано это прежде всего с малым количеством зданий с улучшенным качеством жи-



Рис. 1. Здание «Академии Сен-Гобен» до и после реконструкции.

лой среды и еще более ограниченным опытом всестороннего мониторинга фактического качества этой среды.

Одним из таких зданий является офисного здания «Академии Сен-Гобен» в Москве, оценка комфортности которого была проведена за период 12.01-23.12.2015 г. Это исследование позволило получить интегральную характеристику комфорта, базирующуюся как на численных, измеряемых характеристиках из раздела строительной физики (сенсоры и оборудование компаний «Шнайдер и Зендер»), так и на восприятии комфорта, составляющих социологическую оценку ощущаемого уровня комфорта (осуществлено сотрудниками «Сен-Гобен»).

#### Постановка задачи и описание технического обеспечения мониторинга комфорта в «Академии Сен-Гобен».

Объект мониторинга – «Академия Сен-Гобен», находящаяся по адресу: г. Москва, ул. Бойцовая, д. 6, – двухэтажное офисное здание с подвалом, общей площадью 650 м<sup>2</sup> построенное в 1961 г. В 2015 г. здание было реконструировано с использованием технических решений и материалов



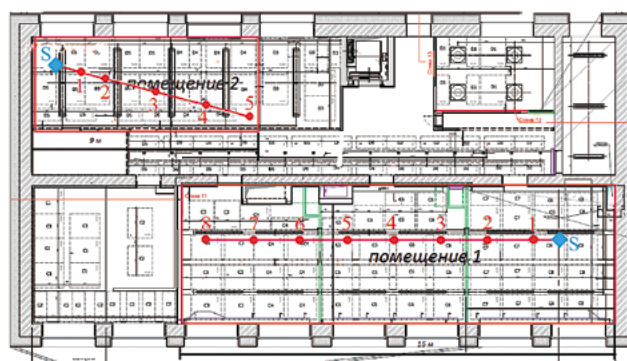
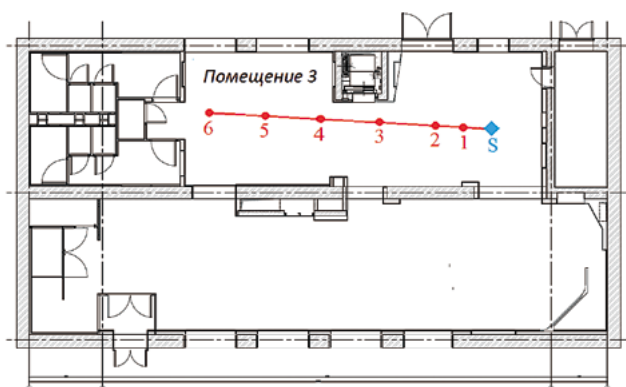


Рис. 2. Схема проведения акустических тестов на первом этаже (в холле возле входа в здание) и втором этаже (помещение 2)

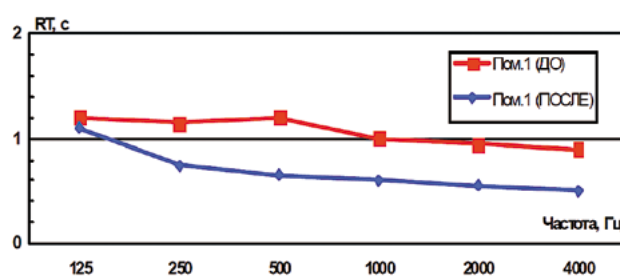
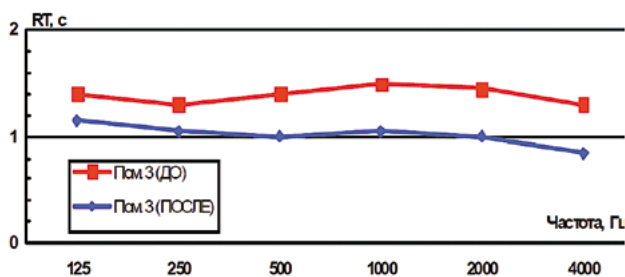


Рис. 3. Результаты измерения времени реверберации до и после устройства звукопоглощающей облицовки в помещении 3 (слева) и помещении 1 (справа).

Сен-Гобен» [2]. Одной из задач было нахождение зависимости между восприятием комфорта и численными физико-химическими параметрами внутренних помещений здания. Для этого здание «Академия Сен-Гобен» оборудовано комплексом сенсоров, которые постоянно накапливают данные о температуре, влажности и качестве воздуха во всех обитаемых помещениях здания. Анализ полученных данных о значении параметров среды в привязке к результатам опросов (письменных и устных) позволило дополнить информацию для определения повышенного уровня комфорта.

### Акустический комфорт

Очевидно, что в зависимости от функционала здания различные параметры комфорта оказывают различное влияние на восприятие комфорта его пользователями. Для офисных и учебных зданий одним из главных параметров является акустика помещений. Необходимость обмениваться большим объемом информации в подобных зданиях требует четкой передачи звука на значительное расстояние без искажений.

Время реверберации (RT) и индекс звукопереноса (STI) были измерены в холле первого этажа (помещение 3) и в офисных помещениях второго этажа (помещение 2) (рис. 2,

слева и справа соответственно) до и после установки звукопоглощающих стеновых панелей ECPHON (рис. 2, 3, 4).

Полученные результаты демонстрируют, что после установки поглощающей облицовки стен на первом этаже, а также в офисных помещениях на втором этаже наблюдается заметное уменьшение времени реверберации, что обуславливает существенное снижение гулкости помещений и является положительным фактором применительно к акустическому комфорту. Уменьшение времени реверберации закономерно приводит к повышению разборчивости речи. В обоих исследованных помещениях (1 и 3) по всей их площади значения STI составляют более 0,6, что соответствует хорошей разборчивости речи.

Проведенные опросы среди сотрудников офиса, постоянно работающих в «Академии Сен-Гобен», а также лекторов, тренеров и гостей, которые появляются в центре реже, не выявили жалоб на дискомфорт общения. Таких явлений, как эхо или неразборчивость речи, не отметил ни один из опрошенных. В это же время в подвальном помещении, где звукопоглощающие панели ECPHON не были установлены, подобный дискомфорт отмечался, что, по-видимому, связано с низкими потолками и жесткими поверхностями помещения.

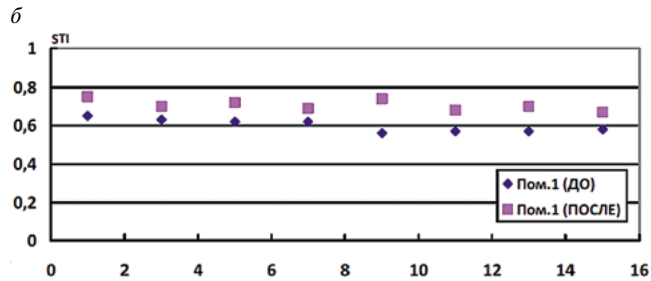
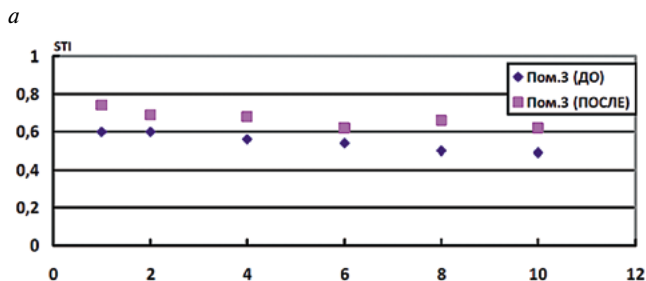


Рис. 4. Помещение 3 (а) и помещение 2 (б). Зависимость разборчивости речи по критерию STI от расстояния до источника звука (до и после устройства звукопоглощающей облицовки)

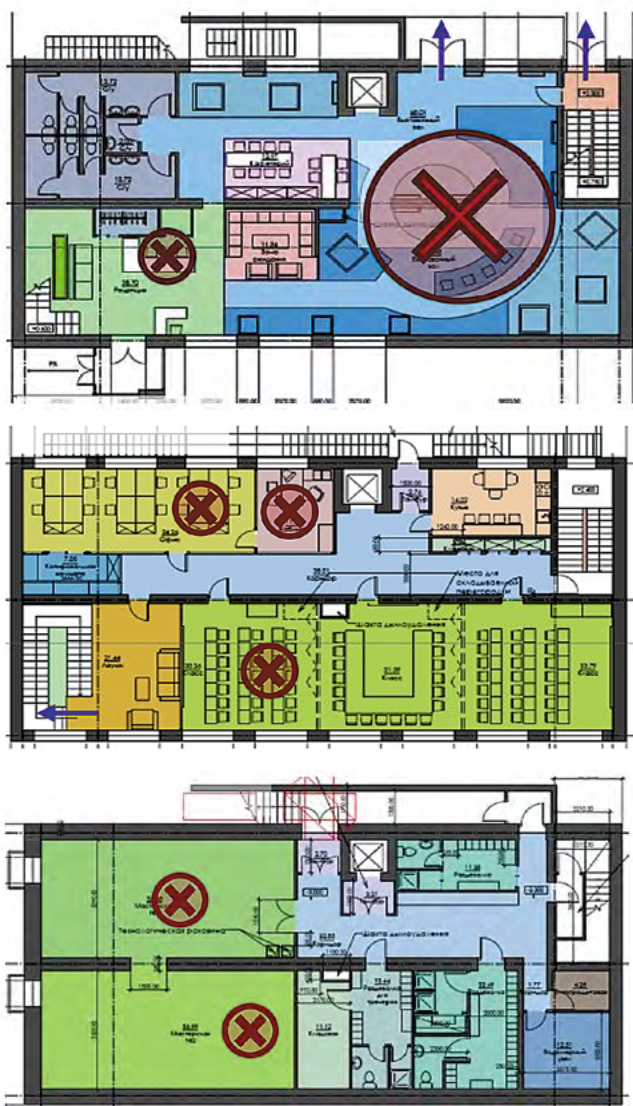


Рис. 5. Схема расположения абсорбционных картриджей для анализа качества воздуха.

### Качество воздуха

Влияние качества воздуха на работоспособность и гигиеническое качество жизни человека трудно переоценить. Принимая во внимание значительную продолжительность нашего пребывания внутри помещений, качество воздуха там признано одним из ключевых параметров комфорта, который необходимо контролировать и поддерживать на безопасном уровне [3].

Ухудшение качества воздуха в помещении может быть связано с двумя явлениями: дополнительной эмиссией опасных веществ из строительных материалов и мебели в жилую среду, а также из-за накопления углекислого газа, выделяемого человеком. Эти параметры обратно пропорционально связаны с работой системы воздухообмена при условии, что качество воздуха снаружи выше, чем внутри.

К вредным веществам, которые могут поступать из строительных материалов и мебели, традиционно относят формальдегид, фенол, аммиак, бензол, толуол и пр. Эти вещества могут содержаться в клеях и смолах, используемых при производстве строительных материалов, в красках и пластмассах. Повышенная концентрация формальдегида и лету-

чих органических соединений может привести к непоправимому ущербу для здоровья (формальдегид и многие летучие органические соединения признаны канцерогенными).

В настоящее время наиболее релевантным методом оценки эмиссии формальдегида и прочих легколетучих веществ является сорбция этих веществ из воздуха оцениваемого помещения на нейтральном сорбенте с последующей десорбцией и затем количественный анализ с помощью газовой хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией. Абсорбционные картриджи Radiello RAD165 с диффузионной оболочкой RAD1201 были использованы для анализа формальдегида и RAD145 с оболочкой RAD1201 для летучих органических веществ соответственно (рис. 5).

Сорбция летучих соединений была проведена в течение 24 ч (в зависимости от образца время сорбции варьировалось от 23,77 до 24,35 ч). Полученные результаты показали крайне низкую концентрацию формальдегида для всех образцов: концентрация формальдегида не превышала значення ПДКсс – 0,01 мг/м<sup>3</sup>. В качестве летучих органических соединений были зафиксированы следовые концентрации (<250 мкг/м<sup>3</sup>) ароматических соединений: толуола, этилбензола, ксилола и некоторых других в еще меньших количествах.

Результаты опросов не выявили жалоб на головные боли, аномальную усталость после рабочего дня или неприятные химические запахи при нахождении или работе в «Академии Сен-Гобен». Тем не менее, выраженный запах «резины» был отмечен в редко используемом неветилируемом коридоре между 1-м и 2-м этажами.

Известно, что повышенная концентрация углекислого газа в помещении значительно ухудшает когнитивные функции организма. Анализ результатов измерения количества углекислого газа внутри помещений Академии показал, что в 95% времени концентрация углекислого газа была ниже гигиенического порога, принятого в нашей стране и за рубежом, – 1000 ppm (1830 мг/м<sup>3</sup>); превышение этого значения в течение некоторого времени ухудшает аналитические способности организма, приводит к общей вялости, апатии [3]. Случаи превышения этой концентрации были зафиксированы в случаях, когда более 20–30 человек находились в одном закрытом помещении в течение продолжительного времени (рис. 6, красная линия – учебный класс). Этот факт, безусловно, означает высокую степень инерционности системы вентиляции, проектной мощности которой достаточно для обеспечения требуемого воздухообмена даже в условии пиковых нагрузок (в обычном «офисном» режиме система вентиляции работает не более чем на 20% от заявленной эффективности). При этом условии концентрация углекислого газа во всех помещениях Академии варьируется от 400 до 800 ppm, что является признанным и в нашей стране и в Европе комфортным уровнем).

Результаты опросов посетителей Академии демонстрируют явную корреляцию между обнаруженными фактами превышения концентрации углекислого газа и чувством дискомфорта. Персонал и участники тренингов упомянули о нескольких случаях, когда им было «душно» во время проведения продолжительных семинаров. При этом в одном случае максимальный уровень этого дискомфорта был оценен в 10 баллов из 10.

### Естественная освещенность

Недостаточное количество естественного освещения негативно влияет на многие физиологические и психологи-





Рис. 6. Данные по концентрации углекислого газа за 25 января 2015

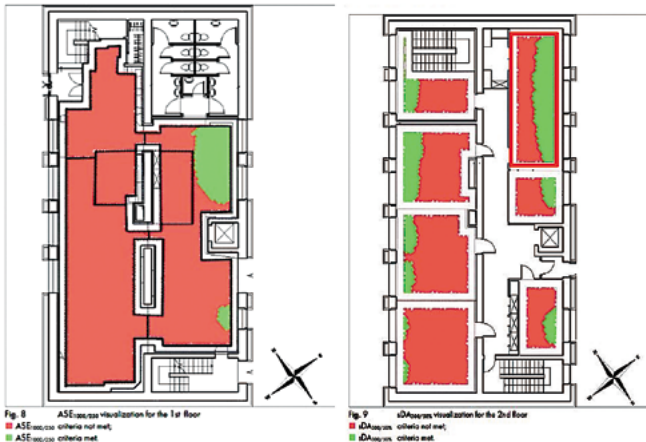


Рис. 7. Результаты симуляции Daylight Autonomy для первого этажа (слева) и второго этажа (справа) в «Академии Сен-Гобен»

ческие процессы человека [5], что, по-видимому, связано с нарушением физиологических периодов бодрствования и сна. Современный подход к изучению среднего уровня естественной освещенности основан на симуляции «активных» комнат здания по методике Daylight Autonomy [6]. Этот подход, по сути, позволяет получить усредненную за год долю времени из временного промежутка с 08.00 до 20.00, когда уровень естественного света превышает 300 lux (это минимальный уровень освещения, который позволяет читать без риска для здоровья глаз). Соответствующие расчеты принимают во внимание такие параметры, как климатические особенности расположения изучаемого объекта, расположение окон относительно сторон света, наличие внешних экранирующих объектов (дома, деревья и т. п.), качество остекления, цвет внутренних стен, пола, потолка и др. В качестве минимального уровня визуального комфорта в Европе принимают Daylight Autonomy, равный 60%.

Анализ уровня естественной освещенности в «Академии Сен-Гобен» ярко демонстрирует недостаточный уровень естественной освещенности на первом этаже здания (среднее DA~5%) (рис. 7). Для второго этажа ситуация несколько лучше (среднее DA~25%), но тем не менее ниже комфортного уровня. Выявленные низкие значения естественной освещенности некоторых помещений «Академии Сен-Гобен» связаны с историческим расположением здания относительно сторон света (ориентацию окон на северо-запад было невозможно исправить, так как здание сильно вытянуто вдоль улицы по первоначальному проекту 1959 г.), значительным экранированием (соседние дома, деревья), общим небольшим уровнем освещенности за 2015 г. (количество пасмурных дней превышало среднестатистические данные метеонаблюдений), высоким уровнем светопогло-

щения энергоэффективных окон, установленных с целью достижения низкого энергопотребления здания на отопление и др. Указанные причины было невозможно устранить в рамках реконструкции здания. Однако световой комфорт может быть улучшен как с помощью дизайнерских решений, так и с помощью грамотного зонирования офисной среды. Например, расположение наиболее активно используемых зон (комнат, где люди проводят большую часть своего времени) в наиболее освещенных частях здания. Именно поэтому офисная часть Академии была спроектирована в наиболее освещенной юго-восточной части здания (рис. 6), где локальный уровень DA составляет 49%. Тренинговая часть здания размещена с расчетом на искусственное освещение (мастерские – в подвальном помещении, залы переговоров – в средней зоне здания).

Опросы работников и посетителей Академии не выявили ни одной жалобы на недостаток солнечного света в здании. Это противоречие с проведенными замерами, по-видимому, обусловлено спецификой деятельности людей, проводящих практически весь рабочий день в одном помещении, средний уровень освещенности в 49%, видимо, вполне достаточен, а для людей, ведущих или посещающих тренинги/семинары, наоборот, требуется искусственное затенение для корректной работы проекторов, т. е. можно предположить, что если бы все пространство «Академии» использовалось в качестве большого офиса, то могли бы быть жалобы от работников, занимающих места на первом этаже и на северной стороне здания.

### Термальный комфорт

Термальный комфорт внутри помещения означает некоторую постоянную (колеблющуюся в некотором интервале) комфортную температуру и влажность, так как восприятие температуры непосредственно связано с относительной влажностью воздуха. В качестве комфортного температурного интервала обычно называют 20–25°C. При этой температуре диапазоном комфортной влажности воздуха является 30–70% соответственно [7].

Годичный анализ температуры в помещениях Академии показал прекрасные результаты: 95% времени в течение года температура во всех контролируемых помещениях колебалась внутри желаемого температурного интервала 20–25°C. Особенно интересной представляется ситуация, когда из-за отключения тепла в октябре и ноябре 2015 г., связанного с ремонтом муниципальной теплотрассы. В этот момент здание Академии осталось без центрального теплоснабжения суммарно больше, чем на неделю. Практически все находившиеся в этот период в Академии сотрудники отметили холод в некоторых помещениях. Датчики зафиксировали понижение температуры до 16°C зафиксировано лишь в нескольких помещениях. Подобная тепловая инерционность здания напрямую связана с высокоэффективной теплоизоляцией ограждающей конструкции (система вентилируемого фасада с сопротивлением теплопередаче 8,11 м²К/Вт) и установкой энергосберегающих окон Сен-Гобен. Также стоит отметить высокий уровень гомогенности распределения температуры внутри помещений. Максимальный зафиксированный градиент температуры в помещениях с окнами составил менее 1°C.

В помещениях Академии не предусмотрена система увлажнения воздуха. Зафиксированная в процессе мо-



Рис. 8. Показания относительной влажности воздуха в помещениях «Академия Сен-Гобен» в 2015 г.

нитинга относительная влажность воздуха находилась в интервале 10–40% в период с октября по апрель (рис. 8), т. е. практически в течение всего «холодного» периода года. Результаты опросов выявили дискомфорт потребителей в помещении в этот период, описываемый как «жарко». Максимально негативная оценка составила 3 балла из 10 возможных. При этом многие вместе с перегревом упоминали и духоту, что возможно, увязывает качество слишком сухого воздуха с общим восприятием термального комфорта.

Это позволяет сделать вывод о том, что для достижения улучшенного уровня термального комфорта необходимо нормировать не только диапазон комфортной температуры и верхнюю границу влажности в помещении, но также нижнюю допустимую границу влажности.

Кроме того, можно сделать предположение о том, что в условиях, когда увеличение влажности воздуха в помещении труднодостижимо, следует предусматривать снижение нижней комфортной границы температуры воздуха. При этом сочетание факторов низкой влажности и низкой температуры будет оцениваться потребителями как комфортные условия. И наоборот, в условиях низкой влажности даже нижняя граница признанного комфортным диапазоном температуры будет оцениваться потребителем как термально дискомфортная (рис. 9, зеленой зоной обозначена зона комфорта).

### Выводы

1. Обеспечение ощущения комфорта внутри зданий для проживающих или работающих в нем людей является интегральной задачей. Комфорт зависит от множества часто противоречащих друг другу факторов. При проектировании зданий используют общестатистические гигиеническими нормативы различных параметров жилой среды. Задачей проектирования улучшенного уровня комфорта является учет синергического действия различных факторов, а также выбор области компромиссных значений, которые будут оцениваться пользователем помещения как мотивирующий уровень комфорта относительно базового гигиенического уровня в обычных зданиях.

2. Нахождение оптимального соотношения между различными параметрами комфорта является научной задачей, которую предстоит решать специалистам, участвующим в создании принципиально новой, более комфортной жилой среды. Установление связи между субъективным мнением и

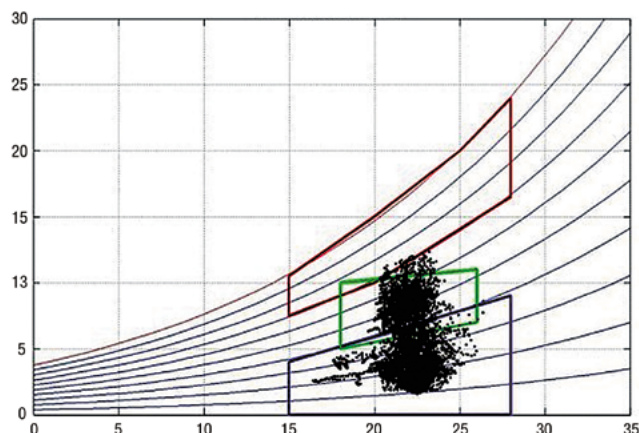


Рис. 9. Психрометрическая диаграмма, построенная на основании собранных данных в помещениях «Академии Сен-Гобен» в 2015 г.

количественными значениями показателей позволит перейти к новому уровню проектирования качества жилой среды.

3. Инструментальный и социологический мониторинг энергоэффективного здания «Академия Сен-Гобен» показал, что вывод об уровне комфорта в помещении не может быть сделан на основании одного или двух факторов жилой среды. По-настоящему комфортным зданием может называться только здание, которое сочетает оптимальные значения всех факторов комфорта.

4. Компания «Сен-Гобен» разрабатывает не только продукты и технические решения для реализации мультикомфортного дома, но также научный подход по выявлению синергического эффекта разных параметров, внося вклад в понимание правил формирования улучшенной жилой среды.

### Список литературы/References

1. How Europeans spend their time Everyday life of women and men. European commission. Eurostat survey. 2004.
2. Парамонов К.О., Шабалдин А.В. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективного здания, построенного по концепции «Мультикомфортный дом Сен-Гобен» // Материалы международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность, энергосбережение в строительстве и ЖКХ». Paramonov K.O., Shabaladin A.V. Experience in design, construction and operation of energy-efficient building, built by the concept of «Multi-Comfort House Saint-Gobain». Materials of the international scientific-practical conference «Environmental safety, energy efficiency in construction and housing and communal services.»
3. Всемирная Организация здравоохранения. Информационный бюллетень № 313. Март 2014. The World Health Organization. Fact Sheet number 313. March 2014.
4. Current Science. 2006. VOL. 90. No. 12.
5. Roenneberg T, Kantermann T, Juda M, Vetter C, Allebrandt KV. Light and the human 10 circadian clock. Handbook of experimental pharmacology. 2013:311-31.
6. IES LM-83-12 –Approved method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) in standards LEED BD&Cv4.
7. Mishra A.K. Field studies on human thermal comfort. An overview «Building and Environment». 64. 2013.

УДК 699.86

ЧЖАО ЦЗИНЬЛИН, канд. техн. наук (zhaojinling@dlut.edu.cn), ЛИ ЦЗЕ, инженер, ЛЮЙ ЛЯНЬИ, инженер  
Даляньский политехнический университет (No.2 Linggong Road, Ganjingzi District Dalian, 16024, P.R.China)

## Влияние региональных различий на проектирование зданий в холодной климатической зоне КНР

Рассмотрены особенности проектирования зданий в разных регионах холодной климатической зоны Китая на основе программы Weather tool. Приведены количественные различия в оптимальной ориентации, в количестве получаемой солнечной радиации и в потенциале энергосбережения зданий, находящихся на Восточном взморье, Центральной равнине и в западной пустыне Китая.

**Ключевые слова:** строительно-климатические зоны, региональное различие, энергосбережение.

ZHAO JINLING, Ph. D, (zhaojinling@dlut.edu.cn) LI JIE, Engineer, LV LIANYI, Engineer  
Dalian University of Technology (DUT) (No.2 Linggong Road, Ganjingzi District Dalian, 16024, P.R.China)

### The impact of regional differences on the building designs of the cold climate in China

The paper studies on the differences in the building designs of different regions in cold climate of China based on the Weather tool software. The differences in the best orientation, the amount of solar radiation received and the energy-saving potential of the buildings in the eastern coastal region, the central plain region and the western desert region are presented quantitatively in the paper.

**Keywords:** building climate regions, regional differences, energy conservation measures.

Разнообразие климатических условий обуславливает разнообразие строительства, потому что климатические условия являются первичными факторами, влияющими на проектирование зданий и регулирование микроклимата в них. При строительстве здания важно в полной мере учесть природно-климатические условия района строительства, которые существенно влияют на принятие правильных инженерных решений [1].

Согласно Национальному стандарту GB50176-93 «Теплотехническое проектирование гражданских зданий» Китай разделен на пять строительно-климатических зон: суровые условия, холодные условия, жаркое лето–холодная зима, жаркое лето – теплая зима и теплые условия. Разнообразие климатических условий холодной зоны объясняется большой протяженностью страны с востока на запад, разнообразным рельефом, различной удаленностью отдельных частей от океанов.

#### Региональный климатический анализ в холодной зоне Китая.

Региональные различия в пределах одной и той же климатической зоны оказывают значительное влияние на проектирование зданий. В холодной зоне Китая соответственно выбраны три региона: Далянь, Тайюань и Хотан. Расположение этих трех городов показано на рис. 1, климатические параметры, определенные по строительным нормам JGJ26-2010 «Проектирование энергосбережения жилых зданий в зонах с суровым и холодным климатом» (на китайском языке), приведены в табл. 1.

Данные три города расположены на близких широтах, градусо-сутки отопительного периода (HDD18) и градусо-сутки периода охлаждения (CDD26) соответствуют в холодной климатической зоне, субзоне 2А [2], но их региональные климатические характеристики для этих городов

имеют значительные различия. Далянь находится на Ляодунском полуострове Северо-Восточного Китая, лежит в полосе морского умеренного климата, где значительную роль играют муссонные ветры. Зима сравнительно теплая, лето нежаркое. Тайюань находится в центральной части Китая, здесь континентально-муссонный климат, летом жарко и влажно, а зимой холодно и сухо. Хотан находится на западе Китая, южнее пустыни Такла-Макан, к юго-востоку от Яркенда. В силу близости пустыни климат в Хотане крайне засушливый, летом жарко, зимой холодно, сильные песчаные бури, большая интенсивность солнечной радиации.

Согласно специализированным климатическим параметрам CSWD (Chinese Standard Weather Data) [3], которые



Рис. 1. Строительно-климатические зоны Китая с указанием рассматриваемых городов



Таблица 1

Региональные климатические параметры в холодной зоне Китая

Область	Строительно-климатическая зона	Географические координаты	Климатические характеристики	Градусо-сутки отопительного периода (HDD18), градусо-сут./год	Градусо-сутки периода охлаждения (CDD26), градусо-сут./год	Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца, °С	Средняя температура воздуха наиболее жаркого месяца, °С	Средняя суточная интенсивность суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в период отопления, Вт/м <sup>2</sup>
Далянь	2А	E121.63 N38.9 H97	Субгумидный теплый умеренный муссонный климат	2924	16	-3,4	24,1	104
Тайюань	2А N 37.78 H 779	E 112.55	Континентальный теплый умеренный муссонный климат	3160	11	-4,6	24,1	108
Хотан	2А N 37.13 H 1375	E 79.93	Климат умеренно теплой крайней пустынной засухи	2595	71	-3,7	25,9	128

применяют при проектировании зданий Китая, сравнивать метеорологические условия в зимний и летний «типовой день» трех регионов (рис. 2). На рис. 2 показано, что в колебания температуры наружного воздуха в зимний и летний «типовой день» существуют значительные различия в этих трех регионах. Максимальная суточная амплитуда температуры имеет наибольшее значение в Тайюане. В Даляне зимний климат самый сухой, а летний самый сырой из трех регионов. В Хотане недостаточно осадков, сухой климат круглый год. Кроме того, в богатом солнечной энергией регионе Хотан. Среднегодовое значение продолжительности солнечного сияния более 300 ч.

**Анализ ориентации здания**

В соответствии с климатическими параметрами трех регионов проанализирована стратегия проектирования зданий с помощью программы Weather tool в программе Ecotect, предназначенной для экологического проектирования зданий, разработанной английской компанией Square One [4].

Оптимальная ориентация означает, что южный фасад дома должен быть ориентирован так, чтобы дом мог получить максимум теплоты в зимний период и минимум теплоты в летний период. Согласно анализу солнечной орбиты, за год проведенному по программе Weather tool, получены оптимальные ориентации здания в трех регионах (рис. 3). На рис. 3, а черные стрелки указывают оптимальную ориентацию здания. В Даляне оптимальная ориентация здания на юго-запад 30°, в Тайюане на юго-запад 10°, в Хотане на юго-запад 17,5°. Видно, что оптимальная ориентация зда-

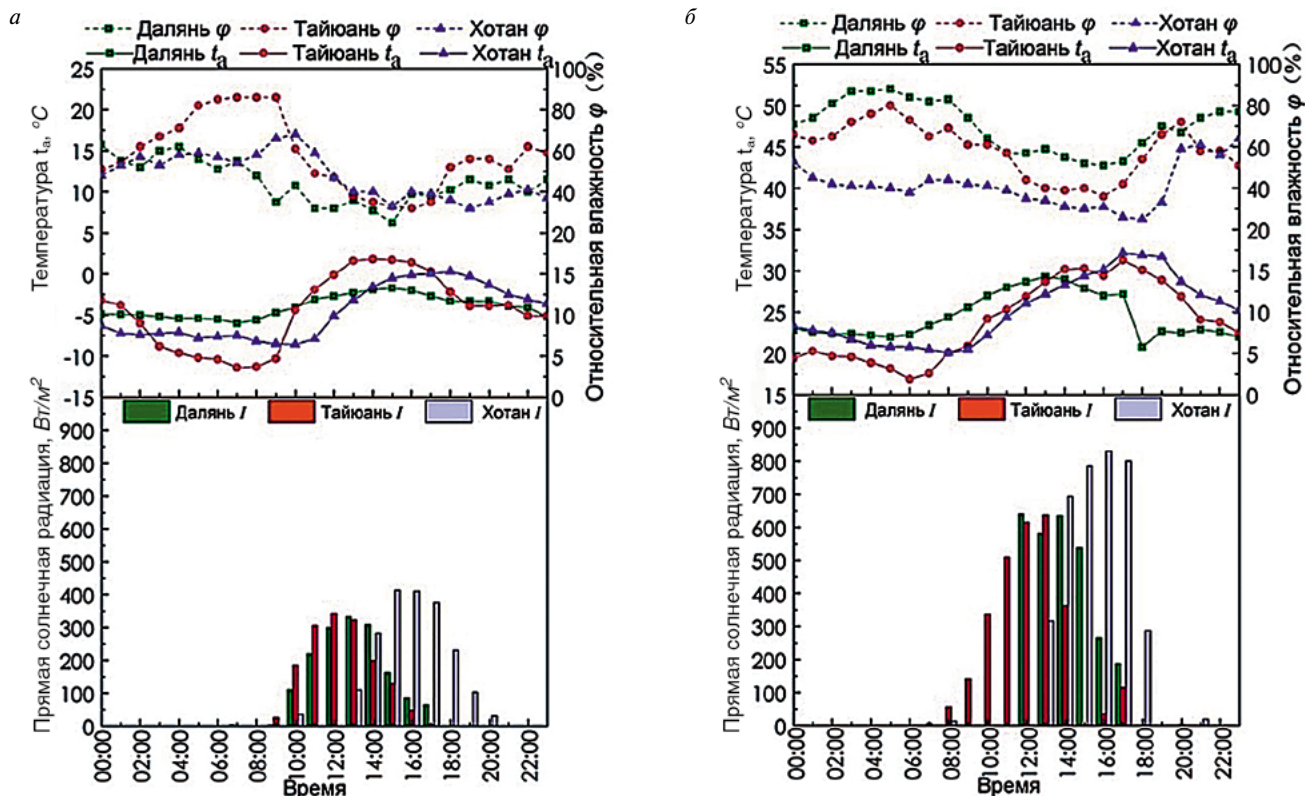
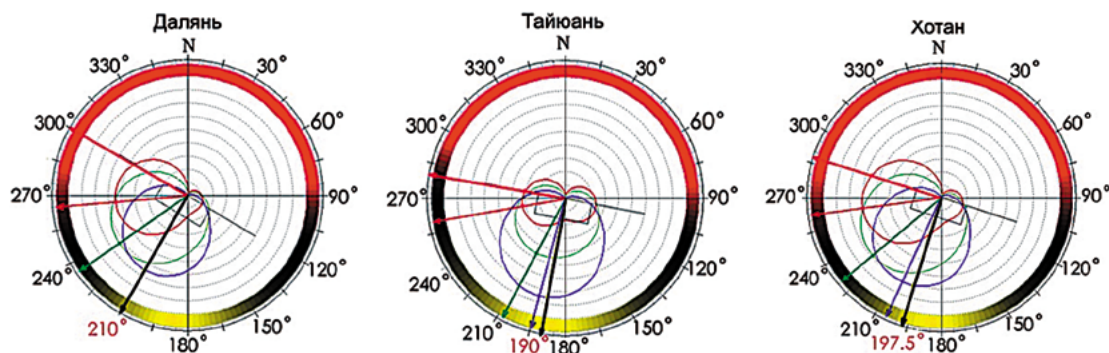


Рис. 2. Сравнение региональных климатических параметров «типового дня» в холодной зоне: а – зимний «типовой день»; б – летний «типовой день». (Горизонтальные координаты — время в Пекине, разность времени между Пекином и Хотаном 2 ч 40 мин, чем объясняется задержка пика параметров)

а



(а)

б

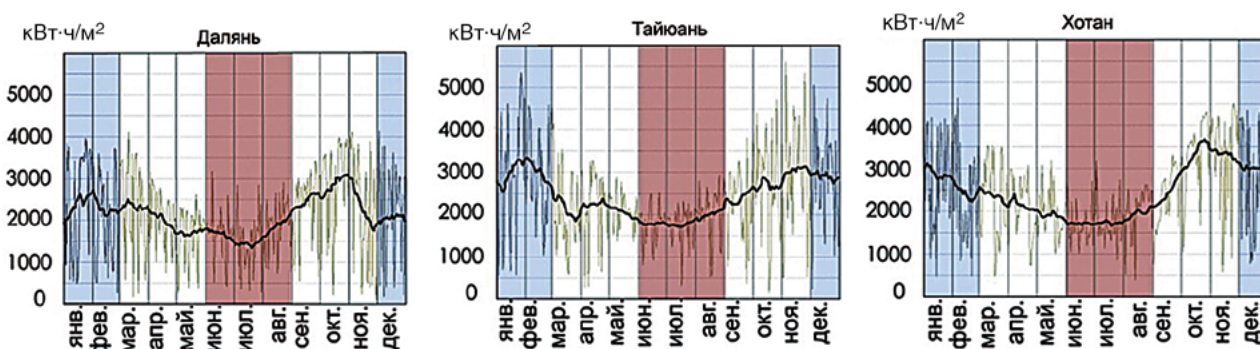


Рис. 3. Оптимальная ориентация здания в Даляне, Тайюане и Хотане: а – оптимальная ориентация здания ; б – солнечная радиация на оптимальную ориентацию

ния в различных регионах неодинакова, здание неидеально ориентируется на географический юг.

Солнечная радиация на полученную оптимальную ориентацию зданий за круглый год показана на рисунке 3, б. На рис. 3, б тонкая кривая указывает суточную солнечную радиацию, черная толстая кривая указывает скользящее среднее значение (англ. moving average, MA) – ряд средних арифметических показателей, рассчитанных на основе данных временных серий, использование которых сглаживает влияние краткосрочных сезонных колебаний, на 30 дней солнечной радиации. В наиболее холодный период (декабрь, январь, февраль), средняя солнечная радиация в Тайюане является самой высокой, колеблется в пределах 2700~3600 кВт ч/м<sup>2</sup>. Можно увидеть, что в трех регионах имеется большой ресурс солнечной энергии для пассивного отопления. Среднее значение солнечной радиации в наиболее жаркий период (июнь, июль и август) в трех регионах колеблется в диапазоне 1400~2200 кВт ч/м<sup>2</sup>.

**Анализ потенциала энергосбережения здания.** В холодной зоне Китая на поддержание комфортных условий микроклимата помещений требуются значительные затраты энергии [5]. Проведен анализ влияния методов энергосбережения на тепловой комфорт в помещении на основе анализа функции климата по программе Weather tool. Используемые методы энергосбережения содержат: тепловую аккумуляцию здания (использование строительных материалов с высокой удельной теплоемкостью), пассивное солнечное отопление (включая прямой и косвенный солнечный обогрев) [6], ночную вентиляцию, естественную вентиляцию.

На начальном этапе проектирования зданий обычно

Таблица 2

**Оптимальное время действия способов энергосбережения в трех регионах**

Способ энергосбережения	Оптимальные периоды (месяцы) действия способов энергосбережения в трех регионах строительства зданий		
	Далянь	Тайюань	Хотан
Пассивное солнечное отопление	1, 2, 3, 4, 11, 12	3, 4, 10	3, 4, 10
Ночная вентиляция		6, 7, 8, 9	6, 7, 8, 9
Естественная вентиляция	6, 7, 8, 9		

принимаются фиксированными радиационная температура окружающей среды и скорость воздуха, таким образом используя температуру и влажность на психрометрической диаграмме можно анализировать тепловой комфорт. На рис. 4, а синие отрезки представляют ежемесячные региональные климатические параметры, желтые участки являются зонами теплового комфорта человека по стандарту ASHRAE [7]. Область, окруженная сплошной линией, обозначает климатические параметры, регулируемые некоторым методом энергосбережения. Когда параметры наружного климата попадают в эту область, это означает, что этим методом энергосбережения можно осуществить тепловой комфорт помещения при таких климатических параметрах. На рис. 4, б, процент времени теплового комфорта показывает отношение времени теплового комфорта к общему времени в том месяце [8]. Чем больше процент времени теплового комфорта, тем дольше время теплового комфорта при естественных условиях и тем меньше



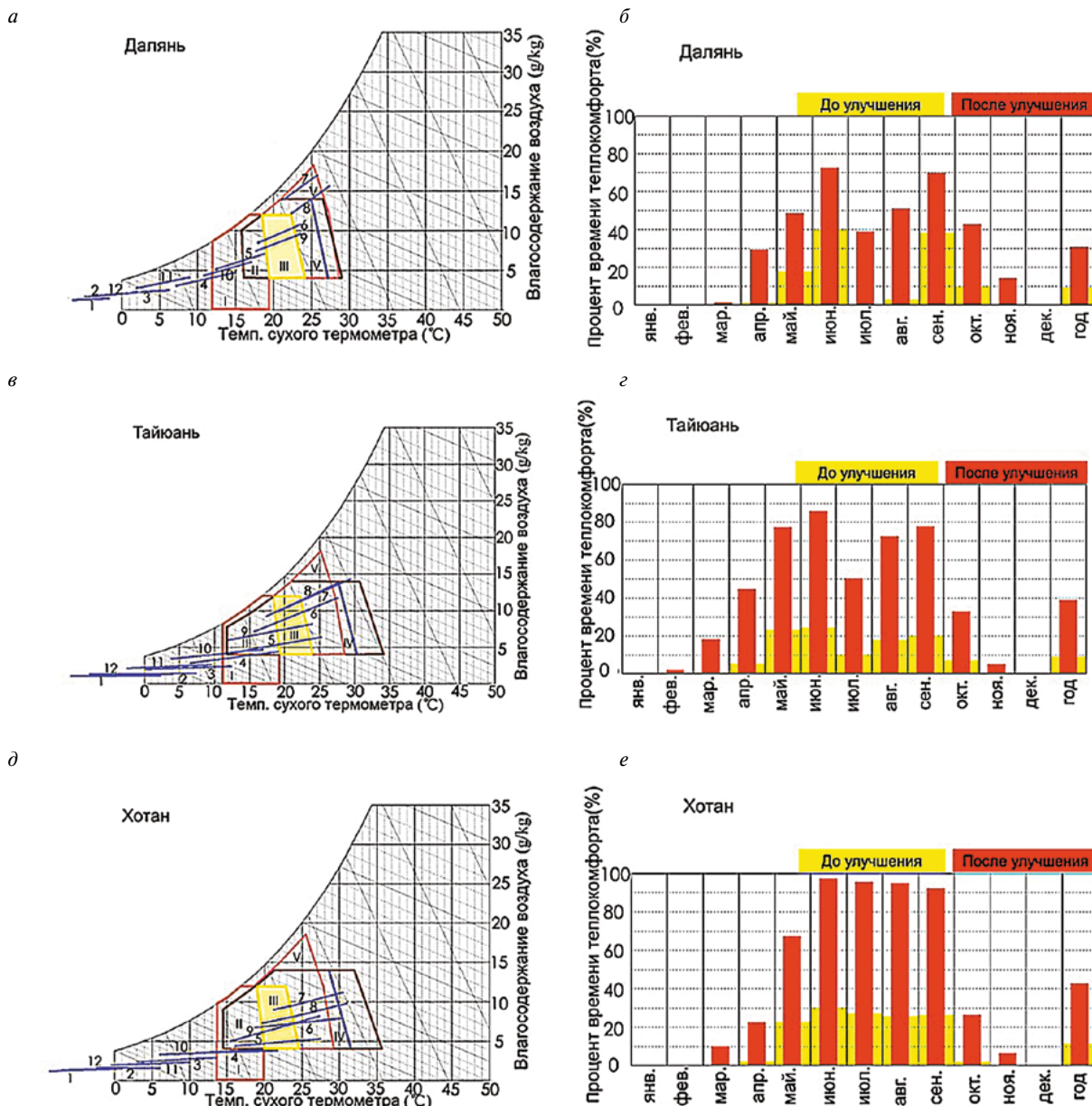


Рис. 4. Анализ потенциала энергосбережения здания. На рис. 4, а римские цифры показывают методы энергосбережения: I – тепловая аккумуляция здания, II – пассивное солнечное отопление, III – ночная вентиляция, IV – естественная вентиляция; а, в, д – климатический анализ; б, г, е – улучшенный процент времени теплового комфорта

потребление энергии на отопление и кондиционирование воздуха.

С помощью рис. 4, а климатического анализа можно узнать, что в Далиане пассивное солнечное отопление и естественная вентиляция обеспечивают наиболее широкую область климатических параметров, осуществляющих тепловой комфорт помещения можно достичь процента времени теплового комфорта примерно до 48% (рис. 4, б). В Тайюане и Хотане эффективное применение пассивного солнечного отопления и ночной вентиляции позволяет достичь процента времени теплового комфорта примерно 37 и 40% соответственно. Оптимальное время действия каждого способа энергосбережения указано в табл. 2.

#### Закключение.

Приведенный выше анализ показал, что региональные различия обуславливают различия в ориентации здания, в количестве полученной солнечной радиации и обуславливают технологические решения энергосбережения. Технологические решения энергосбережения, которые являются эффективными в

некоторых регионах, возможно, не подходят для других регионов в той же самой климатической зоне. В JGJ26-2010 и JGJT267-2012 (Строительная рекомендуемая норма «Проектирование пассивных солнечных зданий») разработаны единые и качественные методы проектирования здания в одной климатической зоне. Например, в JGJ26-2010 устанавливается, что здания должны быть обращены точно или приблизительно на юг. В JGJT267-2012 устанавливается, что для южного фасада здания можно выбрать прямую солнечный обогрев через окна, применять вентилируемые стены Tromba, оранжерея и т. п. Далее целесообразно производить уточнение проектирования здания для различных регионов в одной и той же климатической зоне, чтобы дать строителю твердую базу для выбора правильного проектного решения.

Данное исследование поддержано Государственным фондом естественных наук Китая (ГФЕН) (Проект № 51408100), 2015 – 2017 гг.

### Список литературы

1. Багина Е.С., Суо Д. Сравнительный анализ действующих строительных норм и правил по проектированию жилья в Китае и России. Новые идеи нового века: Материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2014. Т. 2. С. 19–25.
2. Гагарин В.Г., Чжоу Чжибо. О нормировании тепловой защиты зданий в Китае // *Жилищное строительство*. 2015. №7. С. 18–22.
3. Информационный центр климатических бюро Китая, Университет Цинхуа. Специальный сбор климатических параметров для анализа среды зданий Китая. Пекин, Стройиздат. 2006.
4. Тунвэй Ч., Юйфэнь Ч., Сяолян Ч. Стратегии пассивного проектирования на основе психрометрической диаграммы // *Building Energy Efficiency*. 2013. Vol 41. pp. 40-42.
5. Лу В., Соловьёв А.К. Энергоэффективные жилые здания в климатических условиях Северного Китая // *Вестник МГСУ*. 2010. № 3. С. 10–15.
6. Цзиньлин Ч., Шелгинский А.Я. Пассивные солнечные системы теплоснабжения. Опыт Китайской Народной Республики // *АВОК: Энергосбережение*. 2009. № 2. С. 72–75.
7. American Society of Heating Ventilating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE Standard 55-Thermal Environment Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 1992.
8. Anh-Tuan Nguyen, Reiter S. A Climate Analysis Tool for Passive Heating and Cooling Strategies in Hot Humid Climate Based on Typical Meteorological Year Data Sets. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 68, pp.765–763.

### References

1. Bagina E.S., Suo J. Comparative Analysis of the Current Residential Building Codes in China and Russia. *New Ideas of New Century: The Fourteenth International Scientific Conference Proceedings*. 2014. Vol. 2, pp. 19-25.
2. Gagarin V.G., Zhou Zhibo. About Regulation of Thermal Performance of Buildings in China. *Zhilishhnoe Stroitelstvo [Housing Construction]*. 2015. №7, pp. 18-22. (In Russian).
3. Meteorological Information Center of China Meteorological Administration, Tsinghua University. *Special Meteorological Data Set for Analysis of Thermal Environment of Building in China*. Beijing, China Architecture & Building Press. 2006. (In Chinese).
4. Zhang Tongwei, Zhao Yufen, Zhang Xiaolian. *Passive Design Strategies Based on Psychrometric Chart*. *Building Energy Efficiency*. 2013. Vol. 41, pp. 40-42. (In Chinese).
5. Lu B., Solovyov A.K. *Eneegy Efficiency of Residential Building in Northern Climate of China*. *Scientific and Technical Journal on Construction and Architecture*. 2010. №3, pp. 10–15. (In Russian).
6. Zhao Jinling, Shelginsky. A. JA. *Passive Solar Heating Systems. Experience of China*. *Jenergoberezhenie*. 2009. № 2, pp. 72–75. (In Russian).
7. American Society of Heating Ventilating and Air-conditioning Engineers. *ASHRAE Standard 55-Thermal Environment Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, 1992.
8. Anh-Tuan Nguyen, Reiter S. *A Climate Analysis Tool for Passive Heating and Cooling Strategies in Hot Humid Climate Based on Typical Meteorological Year Data Sets*. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 68, pp. 765-763.

# Крым Стройиндустрия Энергосбережение

**МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА**

- Современные строительные материалы и технологии.
- Краски, лаки.
- Строительные машины и механизмы.
- Окна, двери. • Сантехника.
- Экология. Системы очистки воды.
- Системы отопления, вентиляции и кондиционирования.
- Электротехническое и осветительное оборудование.
- Энергосбережение и использование нетрадиционных экологически чистых источников энергии.
- Системы автоматизации. Программное обеспечение предприятий строительной, энергетической, электротехнической отраслей промышленности.

**2016**  
Осень  
27-29 октября  
г. Симферополь,  
ул. Киевская, 115,  
ДКП

Оргкомитет:  
Республика Крым,  
г. Симферополь,  
ул. Горького, 8, оф. 27,  
моб.: +7 978 78 178 83,  
тел./факс: +7(3652) 54-60-66,  
+7(3652) 54-67-46,  
E-mail:  
marketing@expoforum.biz,  
http://expoforum.biz/

 **ФОРУМ**  
КРЫМСКИЕ  
ВЫСТАВКИ

УДК 5624.012.45

П.Д. АРЛЕНИНОВ, инженер (arleninoff@gmail.com), С.Б. КРЫЛОВ, д-р техн. наук  
НИЦ «Строительство», НИИЖБ им. А.А. Гвоздева  
(109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6)

## Построение расчетной модели автомобильного пандуса на основе обследования и натурного испытания

*На основе результатов статических натуральных испытаний и обследования конструкций автомобильного пандуса приведены алгоритмы построения расчетной схемы. Интересной особенностью является тот факт, что из-за податливости опорного болтового соединения работа конструкции под нагрузкой сильно отличается от проектной. Поэтому необходимо при проектировании консольных площадок, опирающихся по одной стороне на двухконсольную балку на двух опорах, учитывать, что при несимметричных нагрузках возможно изменение знака опорной реакции на одной из опор. В этих случаях необходимо проводить соответствующие дополнительные расчеты этой опоры и ее крепежа на растяжение.*

**Ключевые слова:** деформация, расчет, компьютерная модель, испытание, обследование.

P.D. ARLENINOV, Engineer (arleninoff@gmail.com), S.B. KRYLOV, Doctor of Sciences  
Research Center of Construction, NIIZHB named after A.A. Gvozdev (6, 2nd Institutskaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

### Construction of a Calculation Model of a Car Ramp on the Basis of Inspection and Field Test

On the basis of static field testing and inspection of structures of the car ramp, the algorithms of constructing the design scheme are presented. A very interesting feature is a fact that due to the compliance of the supporting bolted connection, the operation of the structure under loading significantly differs from the designed one. That's why, when designing the cantilever platforms resting along one side on the two-console beam on two supports, it is necessary to take into consideration that under asymmetric loads the change in the sign of the support reaction on one of the supports is possible. In these cases, it is necessary to make appropriate additional calculations of this support and its fasteners for tensile.

**Keywords:** deformation, calculation, computer model, test, inspection.

В данной статье приводятся особенности построения расчетной модели сложной конструкции (на примере внутреннего пандуса павильона № 57 ВДНХ), если имеется возможность провести обследование конструкции и выполнить ее натурные испытания [1–10].

Павильон № 57 ВДНХ в конструктивном отношении является каркасным одноэтажным зданием прямоугольной формы в плане. Размеры в плане составляют 224 x 58 м, высота здания (до низа покрытия) – 12 м. За относительную отметку 0.000 (нижняя отметка пандуса) принята отметка чистого пола первого этажа. На отм. +6.000 (верхняя отметка пандуса) расположен антресольный этаж площадью 3429 м<sup>2</sup>.

Пандус расположен внутри здания с промежуточной консольной площадкой (вылет 5 м) на отм. +2.630, на которой происходит разворот на 180°, для обеспечения доступности въезда транспорта на антресольное перекрытие (рис. 1).

Несущими конструкциями пандуса являются расположенные под наклоном сварные двутавровые балки. Опоры выполнены из стальных труб 245 мм. Для опирания перекрытия пандуса между балками установлены второстепенные балки из сваренных продольно швеллеров, образующих двутавр. Промежуточная площадка с консольным вылетом представляет собой балочную клетку из металлических сварных и прокатных двутавровых балок, опирающуюся шарнирно (на болтах) на одну опору из двух сталь-

ных труб 245 мм, соединенных вертикальным стальным листом. К трубам и вертикальному листу приварена горизонтальная опорная пластина, к которой на болтах крепится главная поперечная балка (далее по тексту – главная балка) пандуса. Перекрытие пандуса преимущественно выполнено из сборных железобетонных плит.

При проведении обследования металлических конструкций пандуса были обнаружены на первый взгляд не типичные деформации опорной пластины (рис. 2).

При моделировании данной конструкции в программном комплексе Лира-Сапр получить расчетные деформации пластины (хотя рассматривались всевозможные варианты загрузки), соответствующие фактическим, так и не удалось.

Для более полного понимания работы конструкции было принято решение провести натурные испытания пандуса статической нагрузкой. В качестве нагрузки использовался ножничный подъемник фирмы Genie GS-3268 RT массой 3411 кг. С учетом дополнительной массы (топливо, оператор) принималась нагрузка 3520 кг, т.е. на каждое колесо приходилось по 880 кг (рис. 3).

Выполнено два варианта установки прогибомеров:

- 1) на самом краю наибольшего вылета консоли по обоим сторонам;
- 2) по краям главной балки напротив опоры по оси сдвоенной опоры.

В первом случае нагружение производилось при двух



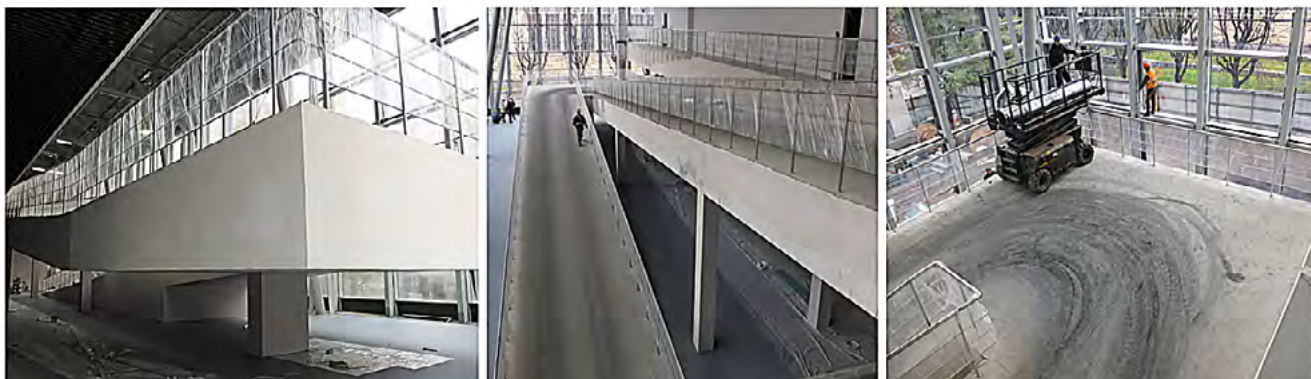
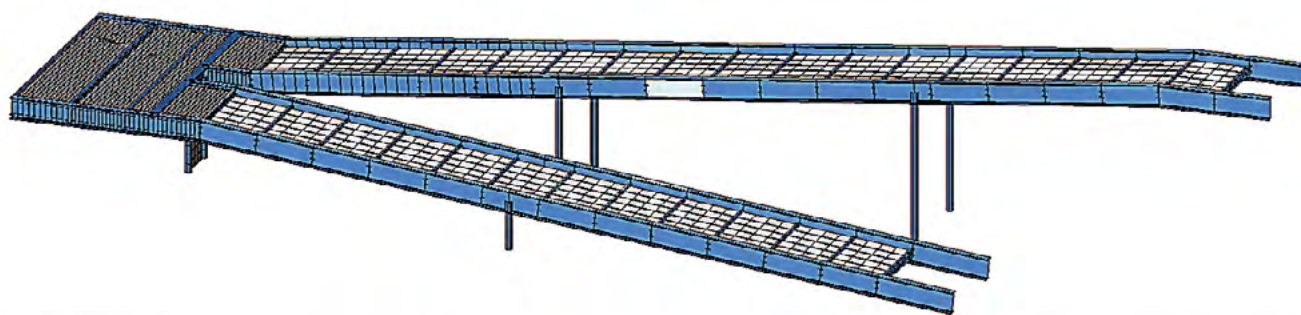


Рис. 1. Фотографии пандуса и его трехмерная модель

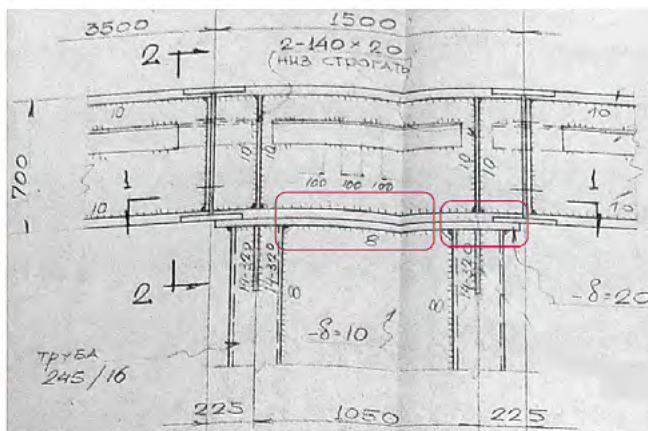
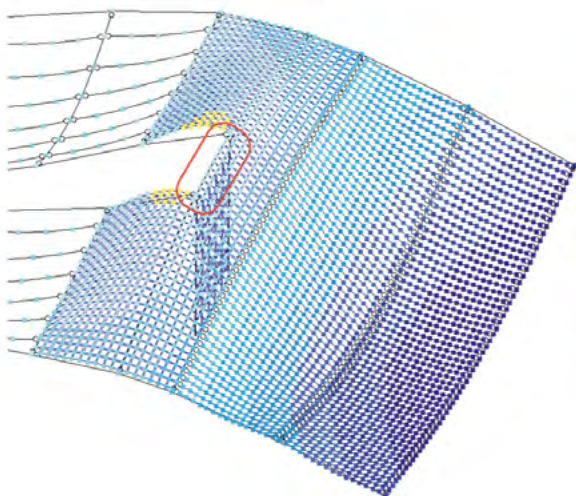


Рис. 2. Деформации опорной пластины относительно главной поперечной балки



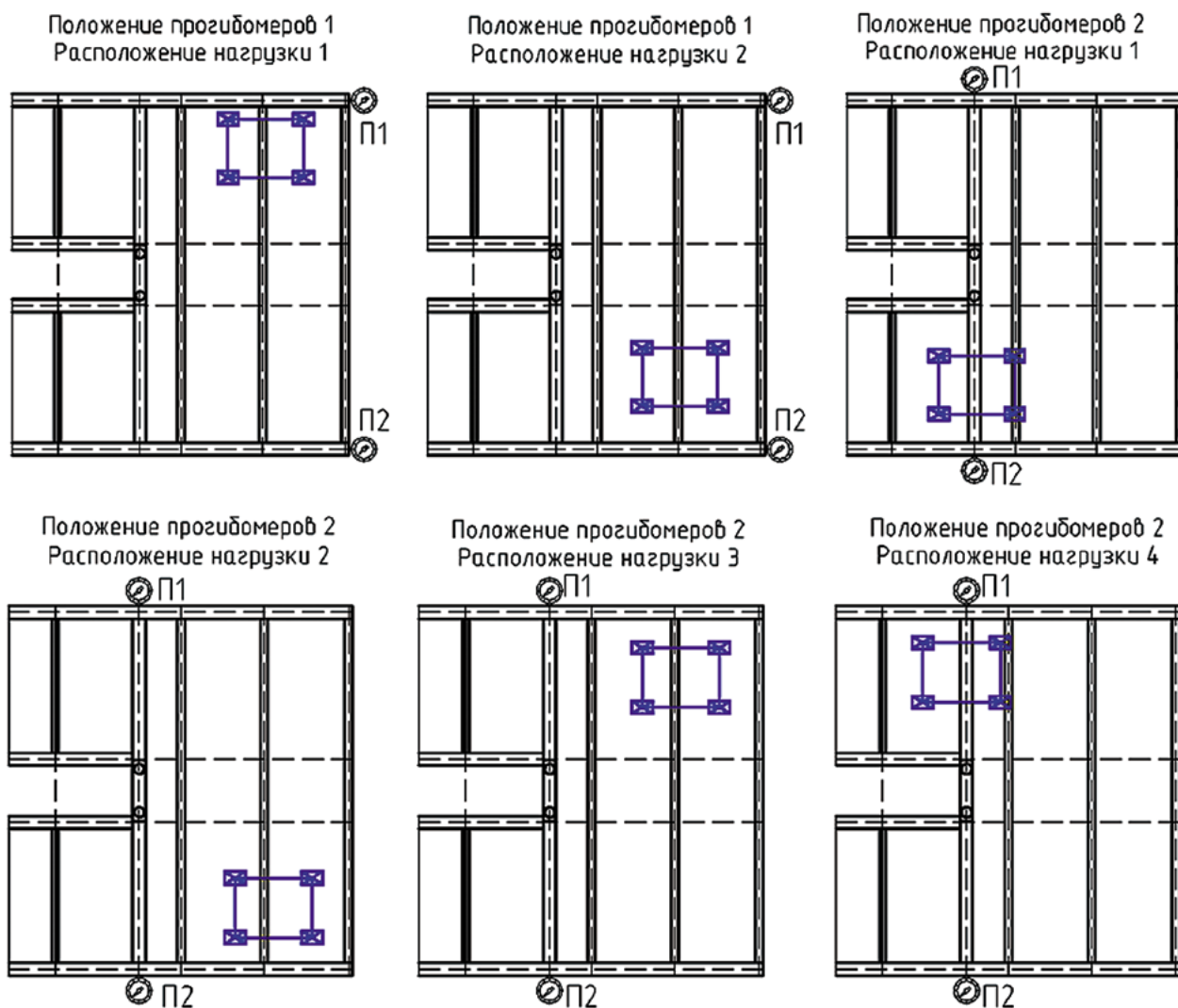


Рис. 3. Схема расстановки прогибомеров и расположения нагрузки

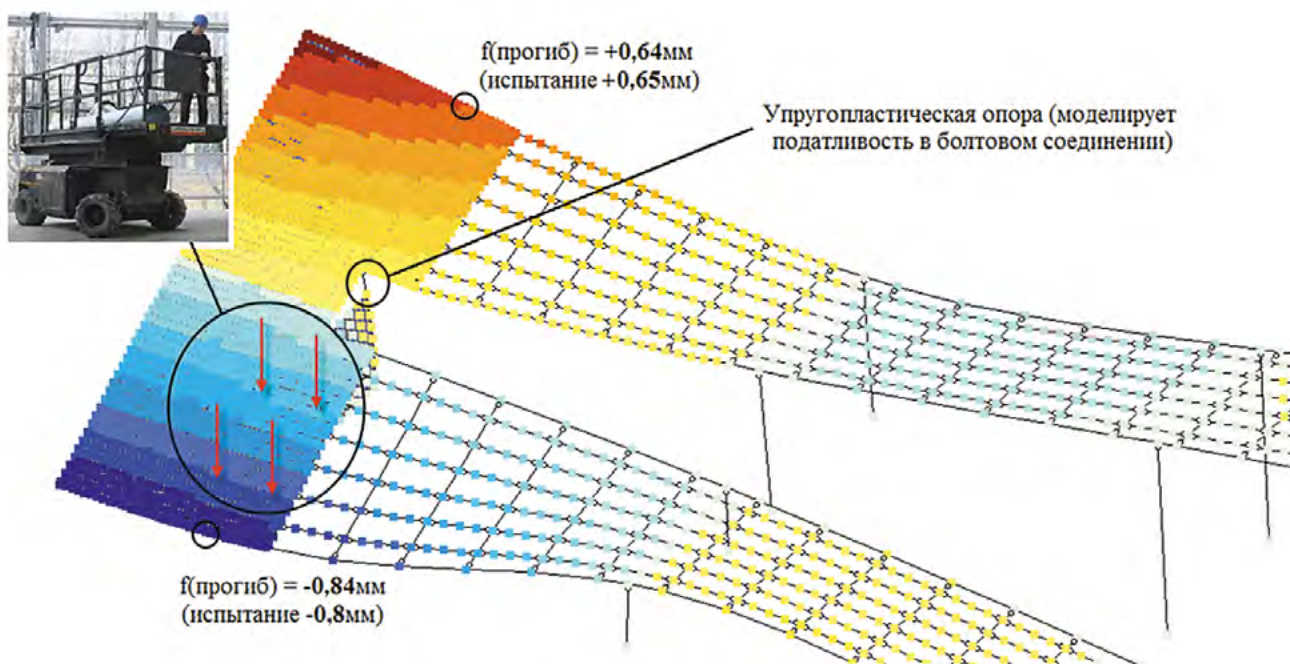
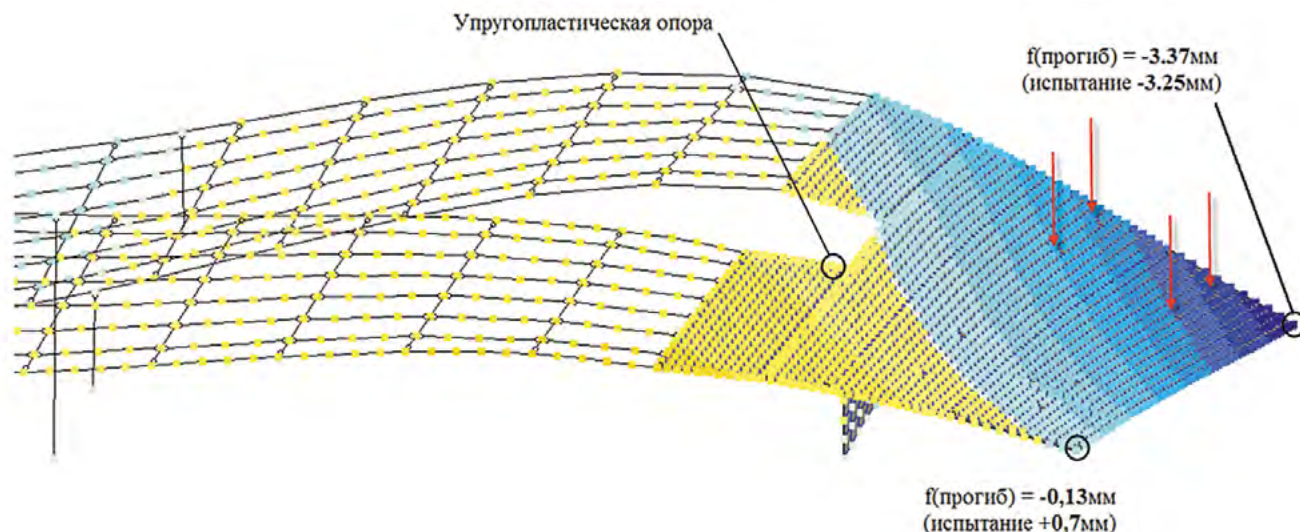


Рис. 4. Сравнение результатов пространственного расчета с испытаниями



**Таблица 1**  
**Результаты испытания**  
**промежуточной консольной площадки**  
(“-” – перемещение вниз; “+” – перемещение вверх)

Расположение нагрузки	Показания прогибомера №1, мм	Показания прогибомера №2, мм
Расположение прогибомеров 1		
1	-3,25	+0,7
2	+0,35	-2,85
Расположение прогибомеров 2		
1	+0,7	-1
2	+0,8	-1,2
3	-1	+0,7
4	-0,8	+0,65

крайних положениях нагрузки. Во втором – при четырех положениях. Подробнее схемы установки прогибомеров и положения нагрузки приведены на рис. 3, результаты испытаний в таблице.

По проекту сварные балки опираются на колонны шарнирно. Как видно из табл. 1, при приложении значитель-

ной нагрузки на край балки (моделирование испытания при положении нагрузки № 4) на опоре (колонне) ближней к месту приложения нагрузки, происходит поворот балки относительно колонны (шарнир), и как следствие этого деформация опорной пластины (рис. 2). При этом на второй опоре, дальней от нагрузки, сварная балка отрывается от опоры (получается эффект коромысла) за счет деформативности болтового соединения. В расчете это было смоделировано путем введения в расчетную схему упругопластического элемента, допускающего вертикальные перемещения в данном узле. После этого расчетные деформации и полученные по результатам испытаний практически совпали (рис. 4–5). Интересной особенностью работы данной конструкции является тот факт, что она значительно отличается от проекта, но при этом под нагрузкой конструкция ведет себя стабильно и безопасно и не требует усиления. Поэтому, необходимо при проектировании консольных площадок, опирающихся по одной стороне на двухконсольную балку на двух опорах, учитывать, что при несимметричных нагрузках возможно изменение знака опорной реакции на одной из опор. В этих случаях необходимо проводить соответствующие дополнительные расчеты этой опоры и ее крепежа на растяжение.

#### Список литературы

1. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций. М.: Высшая школа, 2014. 539 с.
2. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Остаточный ресурс силового сопротивления поврежденного железобетона // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2005. № 9. С. 119–126.
3. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Квазилинейные уравнения силового сопротивления и диаграмма  $\sigma - \epsilon$  бетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 6. С. 40–44.
4. Римшин В.И., Кришан А.Л., Мухаметзянов А.И. Построение диаграммы деформирования одноосно сжатого бетона // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 23–31.
5. Римшин В.И., Шубин Л.И., Савко А.В. Ресурс силового сопротивления железобетонных конструкций инженер-

#### References

1. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Primery rascheta zhelezobetonnykh i kamennykh konstruksii. [Examples of calculation of reinforced concrete and stone designs]. Moskva: Vyshaya Shkola, 2014. 539 p. (In Russian).
2. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Residual resource of power resistance of the damaged reinforced concrete. Vestnik Otdeleniya stroitel'nykh nauk Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk. 2005. No. 9, pp. 119–126. (In Russian).
3. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. The quasilinear equations of power resistance and the chart  $\sigma - \epsilon$  concrete. Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksii i sooruzhenii. 2014. No. 6, pp. 40–44. (In Russian).
4. Rimshin V.I., Krishan A.L., Mukhametzyanov A.I. Creation of the chart of deformation odnoosno the compressed concrete. Vestnik MGSU. 2015. No. 6, pp. 23–31. (In Russian).
5. Rimshin V.I., Shubin L.I., Savko A.V. Resource of power resistance of reinforced concrete designs of engineering



- ных сооружений // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 483–491.
6. Теличенко В.И., Римшин В.И. Критические технологии в строительстве // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 1998. № 4. С. 16–18.
  7. Rimshin V.I., Larionov E.A., Erofeev V.T., Kurbatov V.L. Vibrocreep of concrete with a nonuniform stress state // Life Science Journal. 2014. Т. №11. С. 278–280.
  8. Antoshkin V.D., Erofeev V.T., Travush V.I., Rimshin V.I., Kurbatov V.L. The problem optimization triangular geometric line field // Modern Applied Science. 2015. Т. 9. № 3. pp. 46–50.
  9. Erofeev V.T., Bogatov A.D., Bogatova S.N., Smirnov V.F., Rimshin V.I., Kurbatov V.L. Bioresistant building composites on the basis of glass wastes // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Т. 12. № 1. pp. 661-669.
  10. Krishan A., Rimshin V., Erofeev V., Kurbatov V., Markov S. The energy integrity resistance to the destruction of the long-term strength concrete // Prosedia Engineering 2015, 117 (1), pp. 211–217.
- constructions. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2009. No. 5, pp. 483–491. (In Russian).
6. Telichenko V.I., Rimshin V.I. Critical technologies in construction. Vestnik Otdeleniya stroitel'nykh nauk Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk. 1998. No. 4, pp. 16–18. (In Russian).
  7. Rimshin V.I., Larionov E.A., Erofeev V.T., Kurbatov V.L. Vibrocreep of concrete with a nonuniform stress state. Life Science Journal. 2014. T. No.11, pp. 278–280.
  8. Antoshkin V.D., Erofeev V.T., Travush V.I., Rimshin V.I., Kurbatov V.L. The problem optimization triangular geometric line field. Modern Applied Science. 2015. T. 9. No. 3, pp. 46–50.
  9. Erofeev V.T., Bogatov A.D., Bogatova S.N., Smirnov V.F., Rimshin V.I., Kurbatov V.L. Bioresistant building composites on the basis of glass wastes. Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. T. 12. No. 1, pp. 661-669.
  10. Krishan A., Rimshin V., Erofeev V., Kurbatov V., Markov S. The energy integrity resistance to the destruction of the long-term strength concrete. Prosedia Engineering. 2015, 117 (1), pp. 211–217.

**СТРОЙ  
ЭКСПО  
КРЫМ**

**VI СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ  
СТРОИТЕЛЬНАЯ ВЫСТАВКА  
В КРЫМУ**

**21–23  
ОКТАБРЯ**

**Место проведения:  
ГК «ЯЛТА-ИНТУРИСТ»**

**12+**

**ЭКСПОКРЫМ  
группа компаний**

**# ЭКСПОКРЫМ**  **+7 (978) 900 90 90** **www.expocrimea.com**

УДК 628.921/.928

И.А. ШМАРОВ, канд. техн. наук, В.А. ЗЕМЦОВ, канд. техн. наук,  
Е.В. КОРКИНА, канд. техн. наук (Elena.v.korkina@gmail.com)

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

## Инсоляция: практика нормирования и расчета

*Инсоляция и естественное освещение помещений жилых, общественных зданий и прилегающих территорий являются важными факторами, которые необходимо учитывать при проектировании городской застройки. Нормирование и расчет этих факторов изучается в России и за рубежом. Причем в каждой стране существуют собственные подходы к нормированию и расчету продолжительности инсоляции с учетом особенностей светового климата и градостроительной ситуации. В настоящей статье рассмотрены подходы к нормированию и расчету продолжительности инсоляции в России и за рубежом. Показано, что применение российских норм продолжительности инсоляции обеспечивает наибольшую плотность городской застройки. Рассмотрены методы расчета продолжительности инсоляции и проведено их сравнение с точки зрения практического применения. Сформулированы некоторые проблемы при нормировании продолжительности инсоляции и предложения по их решению.*

**Ключевые слова:** продолжительность инсоляции, естественное освещение, плотность застройки.

I.A. SHMAROV, Candidate of Sciences (Engineering), V.A. ZEMTSOV, Candidate of Sciences (Engineering),  
E.V. KORKINA, Candidate of Sciences (Engineering), (Elena.v.korkina@gmail.com)  
Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (RAACS)  
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Insolation: Practice of Regulation and Calculation

Insolation and natural lighting of premises of residential and public buildings and adjacent areas are important factors that should be considered when designing the urban development. Regulation and calculation of these factors are studied in Russia and abroad. Moreover, each country has its own approach to the regulation and calculation of the insolation duration with due regard for features of the light climate and urban development situation. This article analyzes approaches to the regulation and calculation of the insolation duration in Russia and abroad. It is shown that the use of Russian norms of insolation duration ensures the highest density of the urban development. Methods for calculating the insolation duration are considered; the comparison of them from the point of view of practical application is made. Some problems when regulating the insolation duration and proposals for their solution are formulated.

**Keywords:** insolation duration, natural lighting, density of development.

Светоклиматические факторы городской застройки – инсоляция и естественное освещение помещений жилых и общественных зданий, с одной стороны, обеспечивают безопасность проживания и профилактику заболеваний городского населения [1], а с другой – определяет условия размещения зданий в городской застройке, влияя на их этажность и плотность застройки микрорайонов [2–3]. При проектировке зданий рассматриваются инсоляция помещений и территорий. Инсоляция помещений – попадание прямого солнечного света внутрь помещений. Инсоляция территории – попадание прямого солнечного света на участки местности (применяется для площадок отдыха, детских и спортивных площадок и т. д.).

Инсоляция является необходимым фактором безопасной и комфортной жизнедеятельности человека. Согласно ст. 22 «Требования к обеспечению инсоляции и солнцезащиты» Федерального закона № 384-ФЗ от 30.12.2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» здания должны быть спроектированы таким образом, чтобы в жилых помещениях была обеспечена достаточная продолжительность инсоляции или солнцезащита в целях создания безопасных условий проживания независимо от его срока. Выполнение требований по продолжительности инсоляции или солнцезащиты должно быть обеспечено мерами по ориентации жилых помещений по сторонам света, а также мерами конструктивного и планировочного характера [4]. Учитывая тенденцию к

повышению этажности и плотности массовой застройки, методы нормирования и расчета инсоляции должны способствовать повышению эффективности использования отводимых под застройку территорий [5, 6]. С развитием светопрозрачных конструкций [7], в частности энергоэффективных окон [8], особое значение приобретает не только оптимальное соотношение их светопропускающих и теплозащитных свойств [9], но и пропускание ими солнечной радиации, обеспечивающей требуемую инсоляцию, что частично рассмотрено в [10].

**Гигиеническое действие инсоляции.** Поступающее в помещения зданий и на территорию застройки солнечное излучение обеспечивает санацию поверхностей естественным ультрафиолетовым излучением, которое обеспечивает санацию облучаемых поверхностей и улучшает психофизиологическое состояние человека [1].

Ультрафиолетовое излучение солнца убивает патогенные микробы и вирусы, а также препятствует развитию патогенной микрофлоры (грибов, плесени). В ограниченном пространстве заражение человека туберкулезом органов дыхания, гриппом, острыми респираторно-вирусными инфекциями и многими другими заболеваниями происходит воздушно-капельным путем. На солнечном свете культура бактерий туберкулеза погибает через 1,5 ч [11–12], культура бактерий золотистого стафилококка – через 1,5 ч. Нестойки к солнечному излучению вирусы гриппа [11]. В [13] выявлена зависимость заболеваемости острыми респи-

Таблица 1

Требования к продолжительности инсоляции жилища

Страна	Диапазон географических широт	Нормы продолжительности инсоляции		
		Период года	Расчетный день	Продолжительность инсоляции
Компендиум ЕЭК [16]	–	С 20 марта по 22 сентября	–	2 ч
Россия <sup>1</sup>	Севернее 58° с. ш.	С 22 апреля по 22 августа	22 августа	2ч 30 мин
	Севернее 58° с. ш.	С 22 апреля по 22 августа	22 августа	2 ч
	48°–58°с. ш.	С 22 марта по 22 сентября	22 сентября	2 ч
	48°–58°с. ш.	С 22 марта по 22 сентября	22 сентября	1 ч 30 мин
	Южнее 48° с. ш.	С 22 февраля по 22 октября	22 февраля	1 ч 30 мин
Германия	47° – 55° с. ш.	С 21 марта по 21 сентября	21 марта	4 ч
		–	17 января	1 ч
Англия <sup>2</sup>	49,6° – 60,5° с. ш.	С 21 марта по 21 сентября	21 марта	25% от возможного времени инсоляции в год
		С 21 сентября по 21 марта	–	5% от возможного времени инсоляции в год
Франция	39° – 54° с. ш.	С 13 марта по 28 сентября	–	2 ч
Италия	37° – 47° с. ш.	С 19 февраля по 21 октября	–	2 ч
Швеция	55° – 69° с. ш.	–	20 марта и 22 сентября	5 ч
Нидерланды	51° – 53° с. ш.	С 19 февраля по 21 окт.	–	2 ч
		С 21 января по 22 ноября	–	3 ч
Чехия <sup>3</sup>	48,3° – 51° с. ш.	С 10 февраля по 21 марта	1 марта	1 ч 30 мин
Словакия <sup>3</sup>	48,3° – 48,9° с. ш.	С 1 марта по 13 октября	–	1 ч 30 мин
			–	1 ч
Словения	46,09° – 46,15° с. ш.	–	21 марта; 23 сентября	3 ч
		–	21 декабря	1 ч
Польша	49° – 54° с. ш.	–	21 марта; 21 сентября	1ч 30 мин
Китай	21° – 53,3° с. ш.	–	11–13 января	2 ч
Монголия	Севернее 48° с. ш.	С 22 марта по 22 сентября	22 марта; 22 сентября	2 ч 30 мин
	Южнее 48° с. ш.	С 22 февраля по 22 октября	22 февраля; 22 октября	2 ч
Беларусь	–	С 22 марта по 22 сентября	22 марта; 22 сентября	2 ч
Украина	–	С 22 марта по 22 сентября	22 марта; 22 сентября	2 ч 30 мин

**Примечания:** <sup>1</sup> учитываются теневые углы; <sup>2</sup> учитываются погодные условия; <sup>3</sup> в методике расчета инсоляции фиксируется горизонтальный теневой угол равный 25°, что может привести к неучету до 40 мин продолжительности инсоляции, поступающей в помещение.

раторными заболеваниями от плотности застройки. В [14] отмечено положительное действие инсоляции на психоэмоциональное состояние испытуемых и необходимость ее учета при проектировании.

**Нормирование продолжительности инсоляции за рубежом.** Важность инсоляции для профилактики различных заболеваний отмечена и в ряде иностранных норм, рассмотренных ниже. Согласно документу ООН – ЕСЕ/НВР81 «Компендиум Европейской экономической комиссии (ЕЭК), включающий образцы положений для строительных правил» [15], национальные нормы должны содержать нормативы продолжительности инсоляции. В англоязычном варианте инсоляция обозначается терминами: insolation, sunlighting, solar illuminance, sun duration.

В различных странах мира осуществляется нормирование и расчет инсоляции на основе собственных научных исследований особенностей светового климата и сложившейся градостроительной ситуации [16–18]. Поэтому представляет интерес сравнительный анализ этих подходов в России и за рубежом, что рассмотрено в настоящей статье.

**Сравнительный анализ российских и зарубежных норм.** В рамках настоящей статьи рассматриваются

действующие нормы ведущих стран Евросоюза, а также некоторых азиатских стран. Нормы продолжительности инсоляции существуют в странах ЕврАзЭС (Россия, Беларусь, Казахстан) и на Украине в виде санитарных норм и правил.

Нормируемый в годовом цикле период инсоляции в месяцах и продолжительность инсоляции в национальных нормах зависят от географической широты расположения государства. Чем меньше значение географической широты, тем более продолжительный период года определяется нормами инсоляции, и чем севернее расположено государство (больше географическая широта), тем больше нормируемая продолжительность инсоляции. В табл. 1–3 представлены данные о периоде и продолжительности инсоляции для различных стран при нормировании инсоляции в жилых, общественных зданиях и территориях соответственно. Основные документы, которые регламентируют нормы и методы расчета инсоляции в рассматриваемых странах, приведены в табл. 4.

Следует отметить, что на территории центральной части и исторических зон г. Москвы в период с 1993 по 2000 г. построено и реконструировано значительное количество

Таблица 2

Требования к продолжительности инсоляции помещений общественных зданий

Страна	Диапазон географических широт	Нормы продолжительности инсоляции		
		Период года	Расчетный день	Продолжительность инсоляции
Россия	Севернее 58° с. ш.	С 22 апреля по 22 августа	22 августа	2 ч 30 мин
	48° – 58° с. ш.	С 22 марта по 22 сентября	22 сентября	2 ч
	Южнее 48° с. ш.	С 22 февраля по 22 октября	22 февраля	1 ч 30 мин
Англия	49,6° – 60,5° с. ш.	С 21 марта по 21 сентября	21 марта	25% от возможного времени инсоляции в год
		С 21 сентября по 21 марта	–	5% от возможного времени инсоляции в год
Швеция	55° – 69° с. ш.	–	20 марта и 22 сентября	5 ч
Чехия	48,3° – 51° с. ш.	С 10 февраля по 21 марта	1 марта	1 ч 30 мин
Словакия	48,3° – 48,9° с. ш.	С 1 марта по 13 октября	–	1 ч 30 мин
			–	1 ч 30 мин
Польша	49° – 54° с. ш.	–	21 марта; 21 сентября	3 ч
Китай	21° – 53,3° с. ш.	–	11–13 января	3 ч
		Круглогодично	21 декабря	2 ч
Монголия	Севернее 48° с. ш.	С 22 марта по 22 сентября	22 марта; 22 сентября	3 ч
	Южнее 48° с. ш.	С 22 февраля по 22 октября	22 февраля; 22 октября	3 ч
Беларусь	–	С 22 марта по 22 сентября	22 марта; 22 сентября	3 ч
Украина	–	С 22 марта по 22 сентября	22 марта; 22 сентября	3 ч

Таблица 3

Требования к продолжительности инсоляции детских площадок на территории застройки России и зарубежных стран

Страна	Диапазон географических широт	Нормы продолжительности инсоляции		
		Период года	Расчетный день	Продолжительность инсоляции
Россия	Севернее 58° с. ш.	С 22 апреля по 22 августа	22 августа	3 ч
	48° – 58° с. ш.	С 22 марта по 22 сентября	22 сентября	3 ч
	Южнее 48° с. ш.	С 22 февраля по 22 октября	22 февраля	3 ч
Чехия	48,3° – 51° с. ш.	С 10 февраля по 21 марта	–	1 ч 30 мин
Словакия	48,3° – 48,9° с. ш.	С 1 марта по 13 октября	1 марта	1 ч 30 мин
Польша	49° – 54° с. ш.	–	21 марта; 21 сентября	4 ч
		–	–	2 ч
Китай	21° – 53,3° с. ш.	–	21 декабря	2 ч
Монголия	Севернее 48° с. ш.	С 22 марта по 22 сентября	22 марта; 22 сентября	2 ч 30 мин
	Южнее 48° с. ш.	С 22 февраля по 22 октября	22 февраля; 22 октября	2 ч
Беларусь	–	С 22 марта по 22 сентября	22 марта; 22 сентября	2 ч 30 мин
Украина	–	С 22 марта по 22 сентября	22 марта; 22 сентября	3 ч

жилых и общественных зданий. Плотность городской застройки центральной исторической зоны Москвы рассчитывалась с учетом обеспечения продолжительности инсоляции в жилых зданиях, равной 1,5 ч, и определялась с помощью графика для 22 апреля (22 августа) для 55° с. ш. Как следствие, существенно повысилась плотность и этажность застройки.

Как следует из табл. 1–3, в России для нормирования инсоляции установлены периоды с весны по осень, но по российским нормам расчет ее ведется только на расчетные дни. Балконы и лоджии снижают продолжительность инсоляции помещений в летние месяцы из-за увеличения высоты подъема солнца над горизонтом. Однако в летний пери-

од в помещения поступает естественное ультрафиолетовое излучение, рассеянное в атмосфере, мощность которого в этот период года сопоставима с мощностью прямого солнечного излучения.

В этом состоит основное отличие норм инсоляции России от норм инсоляции ЕврАзЭС и Украины, которые требуют расчета и наличия нормативной продолжительности инсоляции на весь период с весны по осень, а в результате приводят к обеднению архитектурных фасадных решений и лишают жильцов необходимых им летних помещений (лоджий и балконов). Как видно из приведенных таблиц сравнения норм инсоляции жилых и общественных помещений 1 и 2, нормы инсоляции в России с учетом гео-



Таблица 4

Основные документы, использованные для анализа нормирования и расчета инсоляции в различных странах

Страна	Основной документ
Россия	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий. Санитарные правила и нормы». М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 15 с.
Германия	DIN 5034-1: 2011 Tageslicht in Innenräumen. Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Berlin, Deutsches Institut für Normung e.V., 2011. 19 p. DIN 5034-2: 1985 Tageslicht in Innenräumen. Grundlagen – Berlin, Deutsches Institut für Normung e.V., 1985. 13 p.
Англия	BS 8206-2:2008. Lighting for buildings. Part 2. London, BSI, 2008
Эстония	Ehitusseadus RT I 2002, 47, 297. Vastu võetud 15.05.2002 / Building Act.). EVS 894: 2008 + A1: 2010. Daylight in dwellings and offices
Франция	Art R 111-17 Town planning code. Decret 73-1023 – 8th of February 1973
Словения	Минимальные технические требования для строительства жилых зданий, 2005 г. (Словения). (Rules on min. technical requirements for the construction of residential buildings, 2005)
Швеция	Boverkets författningssamling -building regulation BFS 2014:3. Boverkets författningssamling – publication Solklart (1991) SS 91 42 01
Нидерланды	Использовались данные доклада по нормам «Предложения по минимальным требованиям инсоляции» – Stanislav Darula, Marta Malikova. Proposals for minimum requirements for sunlight. Item 11. CEN/TC 169/WG 11 – Daylight. Berlin, February 23–24, 2015
Чехия	Regulation No. 268/2009 about technical requirements for buildings. ČSN 73 4301:2004. Obytné budovy
Польша	Regulation No. 620/2002 of the Ministry of Infrastructure on the technical requirements to be met by buildings and their placement
Словакия	Standard STN 73 4301:2005 Buildings for dwelling
Китай	Технические стандарты анализа инсоляции зданий провинций Хубэй, Чжэцзян, Хэнань, Гирин, Цзенсу (Китай). (湖北省建筑日照分析技术规范).
Монголия	БНБД 23-02-08. «Байгалийн ба зохиомол гэрэлтүүлэг»-08. Улаанбаатар хот, 2008 он. БНБД 23-04-07 «Орон сууц, олон нийтийн барилга, сууцны барилгажилтын бүсийн нарны тусгалын (ээвэрлэлтийн) хангамж». Улаанбаатар хот, 2007 он.
Украина	Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів, Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 р. № 173. Будинки і споруди. Настанова з розрахунку інсоляції об'єктів цивільного призначення [Текст]: ДСТУ Н Б В.2.2-27:2010. [Дата введення 2011-01-01] / Минрегіонбуд України. Киев: Укрархбудінформ, 2010. 81 с.
Беларусь	Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования обеспечения инсоляцией жилых и общественных зданий и территорий жилой застройки. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28 апр. 2008. № 80. Минск. 10 с.

графической широты района строительства обеспечивают наибольшую плотность городской застройки.

**Сравнительный анализ методов расчета продолжительности инсоляции.** Нормы продолжительности инсоляции нельзя рассматривать в отрыве от методики ее расчета. Критическим вопросом является учет (неучет) горизонтальных и вертикальных теневых углов. Если теневые углы не учитываются, то нормативная этажность и плотность застройки повышается. Имеется и обратная ситуация, когда в методику закладывают большие фиксированные теневые углы, то нормативная этажность и плотность застройки снижается.

Основными методами расчета продолжительности инсоляции являются:

- инсоляционные графики (линейки), построенные для географической широты района строительства;
- солнечные карты для географической широты района строительства;
- аналитические методы расчета по формулам;
- программные средства, привязанные к национальным нормам.

Наиболее удобными для применения и имеющими наименьшие трудозатраты являются инсоляционные графики (линейки). Оптимальным является вариант перенесения инсоляционной линейки в международное программное средство Autocad с возможностью перемещения их по генплану застройки. Этот способ давно используют проектные институты Москвы. Он позволяет производить расчет про-

должительности инсоляции на расчетный день года, установленный в нормах.

Солнечные карты позволяют рассчитывать продолжительность инсоляции, а также использовать их для проектирования солнцезащитных устройств и для определения периода, в течение которого солнцезащитное устройство оказывает затеняющее действие. Внедрение их в проектную практику позволит на более высоком уровне решать вопросы инсоляции и солнцезащиты жилых и общественных зданий и территорий.

Программные средства обладают максимальной точностью, но требуют больших трудозатрат на ввод исходных данных.

Согласно гигиеническим требованиям к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий расчет продолжительности инсоляции выполняется по графикам с учетом географической широты территории.

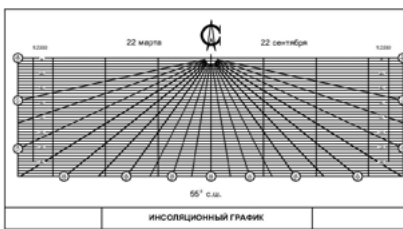
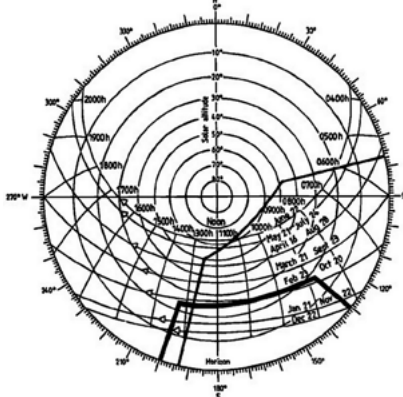
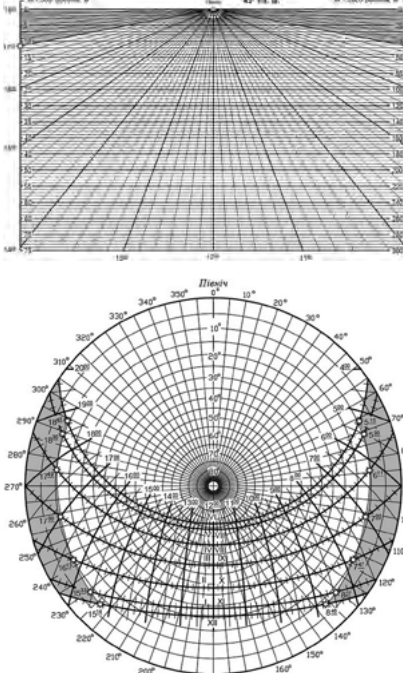
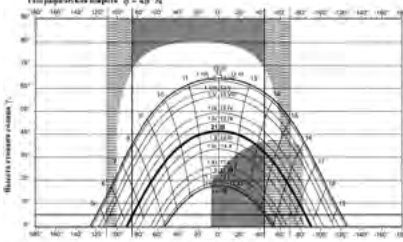
В табл. 5 представлены основные графические методы расчета инсоляции в некоторых странах.

**Основные направления в области нормирования продолжительности инсоляции и солнцезащиты.** Из рассмотрения задач нормирования и расчета продолжительности инсоляции можно сформулировать следующие предложения по их совершенствованию.

1. Инсоляция остается одним из важнейших факторов, отвечающих за поступление прямого солнечного света и естественного ультрафиолетового излучения в помещения

Основные графические методы расчета инсоляции

Таблица 5

Страна, документ	Наименование методик расчета	Графический вид методик
Россия СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01	Одна методика расчета – инсографики на географическую широту места строительства в России с интервалом $\pm 2,5$	
Англия BS 8206-2:2008 – Part 2	Одна методика расчета – диаграммы Вальдрама	
Украина ДСТУ-Н Б В:2.2-27-2010	Две методики расчета: 1. Инсографики на каждую географическую широту с интервалом широты 10 2. Солнечные карты на каждую географическую широту с интервалом широты 10	
Проект EN «Естественное освещение зданий»	Диаграммы Вальдрама	

и обеспечивающих тем самым безопасность жилища. Большинство развитых стран имеют национальные нормы по инсоляции, продолжительность которой зависит от диапазона географических широт расположения территории страны. Документ Европейской экономической комиссии ООН ЕСЕ/НВР/81 рекомендует продолжительность инсоляции жилища 2 ч. Однако в настоящее время страны Евросоюза ведут разработку стандарта EN, в котором минимальная продолжительность инсоляции составит 1,5 ч.

2. Наиболее удобными и используемыми в настоящее время методами расчета являются инсоляционные графики и солнечные карты. Преимущество их перед программными методами расчета заключается в отсутствии необходимости ввода массивов данных по объемно-планировочным решениям застройки и возможности оперативного получения результатов при работе с генпланами и ситуационными планами застройки в масштабах 1:500, 1:1000 и 1:2000. Точность расчета продолжительности инсоляции повышается, если инсографик на прозрачной электронной подложке переносится в программное средство AutoCAD и используется для работы с электронными генпланами и ситуационными планами застройки.

3. Учитывая повышенную плотность строительства города Москвы с ее новым территориальным делением, в целях более полного учета существующих возможностей светового климата целесообразно разработать инсоляционные графики и солнечные карты с более подробным интервалом географических широт с интервалом  $\pm 0,5^\circ$ .

4. В санитарных правилах и нормах СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 целесообразно изложить требования к периоду действия солнцезащитных устройств жилых и общественных зданий. Расчет периода действия солнцезащиты, способствующей ограничению избыточного теплового воздействия солнечного излучения, может быть выполнен по солнечным картам, разработанным для географической широты района строительства.

## Список литературы

1. Скобарева З.А., Текшева Л.М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения // *Светотехника*. 2003. № 4. С. 7.
2. Фокин С.Г., Бобкова Т.Е., Шишова М.С. Оценка гигиенических принципов нормирования инсоляции в условиях крупного города на примере Москвы // *Гигиена и санитария*. 2003. № 2. С. 9–10.
3. Земцов В.А., Гагарина Е.В. Экологические аспекты инсоляции жилых и общественных зданий // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2012. № 2. С. 38–41.
4. Земцов В.А., Гагарин В.Г. Инсоляция жилых и общественных зданий. Перспективы развития // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 5. С. 147–151.
5. Щепетков Н.И. О некоторых недостатках норм и методик инсоляции и естественного освещения // *Светотехника*. 2006. № 1. С. 55–56.
6. Куприянов В.Н., Халикова Ф.Р. Предложения по нормированию и расчету инсоляции жилых помещений // *Жилищное строительство*. 2013. № 6. С. 50–53.
7. Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Развитие светопрозрачных конструкций в России // *Светотехника*. 2014. № 3. С. 46–51.
8. Савин В.К., Савина Н.В. Архитектура и энергоэффективность окна // *Жилищное строительство*. 2015. № 10. С. 47–50.
9. Коркина Е.В. Комплексное сравнение оконных блоков по светотехническим и теплотехническим параметрам // *Жилищное строительство*. 2015. № 6. С. 60–62.
10. Куприянов В.Н., Халикова Ф.Р. Натурные исследования энергетических параметров инсоляции жилых помещений // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2012. № 4. С. 139–147.
11. Краткая медицинская энциклопедия в 2 т. / Под ред. академика РАМН В.И. Покровского. М.: НПО «Медицинская энциклопедия», Крон-Пресс, 1994. Т. 1. С. 271. Т. 2. С. 378.
12. Руководство по медицине. Диагностика и терапия. В 2 т. / Под ред. Р. Беркоу и Э. Флетчера. М.: Мир, 1997. Т. 1. С. 84.
13. Данциг Н. М. Гигиена освещения и инсоляции зданий и территорий застройки городов. М.: БРЭ, 1971. 129 с.
14. Impact of window size and sunlight penetration on office workers' mood and satisfaction. a novel way of assessing sunlight. Boubekri M., Hull R.B., Boyer L.L. *Environment and Behavior*. 1991. Т. 23. № 4. С. 474–493.
15. ЕСЕ/НВР/81. Компендиум ЕЭК, включающий образцы положений для строительных правил. Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций, 1992. 105 с.
16. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. Littlefair P. *Solar Energy*. 2001. Т. 70. № 3. С. 177–185.
17. Perceived performance of daylighting systems: lighting efficacy and agreeableness. Fontoynt M. *Solar Energy*. 2002. Т. 73. № 2. С. 83–94.
18. El Diasty R. Variable positioning of the sun using time duration. *Renewable Energy*. 1998. Т. 14. № 1–4. С. 185–191.

## References

1. Skobareva Z.A., Teksheva L.M. Biological aspects of a hygienic assessment of natural and artificial lighting. *Svetotekhnika*. 2003. No. 4, p. 7. (In Russian).
2. Fokin S.G., Bobkova T.E., Shishova M.S. Assessment of the hygienic principles of rationing of insolation in the conditions of the large city on the example of Moscow. *Gigiena i sanitarija*. 2003. No. 2, pp. 9–10. (In Russian).
3. Zemcov V.A., Gagarina E.V. Ecological aspects of insolation of residential and public buildings. *BST: Bjulleten' stroitel'noj tehniki*. 2012. No. 2, pp. 38–41. (In Russian).
4. Zemcov V.A., Gagarin V.G. Insolation of residential and public buildings. Prospects of development. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2009. No. 5, pp. 147–151. (In Russian).
5. Shhepetkov N.I. About some shortcomings of norms and techniques of insolation and natural lighting. *Svetotekhnika*. 2006. No. 1, pp. 55–56. (In Russian).
6. Kuprijanov V.N., Halikova F.R. About some shortcomings of norms and techniques of insolation and natural lighting. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 6, pp. 50–53. (In Russian).
7. Spiridonov A.V., Shubin I.L. Development of translucent designs in Russia. *Svetotekhnika*. 2014. № 3. S. 46–51. (In Russian).
8. Savin V.K., Savina N.V. Arkhitektura and energy efficiency of a window. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 10, pp. 47–50. (In Russian).
9. Korkina E.V. Complex comparison of window blocks in lighting and heattechnical parameters. *Zhilishhnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 6, pp. 60–62. (In Russian).
10. Kuprijanov V.N., Halikova F.R. Natural researches of power parameters of insolation of premises. *Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2012. No. 4, pp. 139–147. (In Russian).
11. Kratkaja medicinskaja jenciklopedija v 2-h tomah. Pod red. akademika RAMN V.I. Pokrovskogo [The short medical encyclopedia in 2 volumes]. Moscow.: Medicinskaja jenciklopedija, 1994. P. 1, pp. 271, P. 2, pp. 378. (In Russian).
12. Rukovodstvo po medicine. Diagnostika i terapija [Guide to medicine. Diagnostics and therapy]. Moscow: Mir, 1997. T. 1, pp. 84. (In Russian).
13. Dancig N.M. Gigiena osvshhenija i insoljaccii zdaniij i territorij zastrojki gorodov [Gigiyena of lighting and insolation of buildings and territories of building of the cities]. Moscow: BRJe, 1971. 129 p. (In Russian).
14. Impact of window size and sunlight penetration on office workers' mood and satisfaction. a novel way of assessing sunlight. Boubekri M., Hull R.B., Boyer L.L. *Environment and Behavior*. 1991. Т. 23. No. 4. P. 474–493.
15. ECE/HBP/81 Compendium of Model Provisions for Building Regulations [The compendium of EEK including samples of provisions for construction rules]. New York: United Nations, 1992. 105 p.
16. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. Littlefair P. *Solar Energy*. 2001. P. 70. No. 3, pp. 177–185.
17. Perceived performance of daylighting systems: lighting efficacy and agreeableness. Fontoynt M. *Solar Energy*. 2002. P. 73. № 2, pp. 83–94.
18. El Diasty R. Variable positioning of the sun using time duration. *Renewable Energy*. 1998. P. 14. No. 1–4, pp. 185–191.

УДК 699.8

М.А. ПОРОЖЕНКО, инженер (mporoz@mail.ru),  
Н.А. МИНАЕВА, инженер, В.Н. СУХОВ, канд. техн. наук

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

## Оценка изоляции воздушного шума стеной с гибкой плитой на отnose

Приведен метод расчета изоляции воздушного шума конструкцией стены с гибкой плитой на некотором расстоянии от нее. Выполнен в качестве иллюстрирующего примера расчет изоляции воздушного шума конструкцией, представляющей собой кирпичную стену толщиной 125 мм с листом ГКЛ толщиной 12,5 мм, воздушный промежуток между которыми заполнен минераловатной плитой. В качестве проверки теоретического метода расчета с результатами экспериментальных исследований проведены измерения изоляции воздушного шума рядом конструкций в звукомерных камерах НИИСФ РААСН. Показано, что результаты экспериментальных исследований хорошо коррелируются с результатами расчетов. Приведенный метод оценки изоляции воздушного шума подобными конструкциями может быть применен для расчета изоляции воздушного шума стеной (кирпич, бетон, гипсобетон, пазогребневые плиты) с наличием располагаемой на некотором расстоянии от стены гибкой плиты (ГКЛ, ГВЛ). Воздушный промежуток между ними заполнен волокнистым материалом (минеральная вата, базальтовое волокно и др.). Применение этого метода позволяет оценивать изоляцию воздушного шума аналогичными конструкциями без дополнительного исследования этих конструкций в специализированных звукомерных камерах.

**Ключевые слова:** шум, конструкция, изоляция воздушного шума.

M.A. POROZHENKO, Engineer (mporoz@mail.ru), N.A. MINAEVA, Engineer, V.N. SUKHOV, Candidate of Sciences (Engineering)  
Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (RAACS)  
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Assessment of Airborne Sound Insulation with a Wall with a Flexible Plate to Apply

A method for calculation of airborne sound insulation using the wall with flexible plate at some distance from it is presented. As an illustrative example, the calculation of airborne sound insulation with a structure in the form of a brick wall of 125 mm thickness with a sheet of plasterboard of 12.5 mm thickness, the air gap between them is filled with mineral wool, was made. To verify the theoretical calculation method and the results of experimental studies, the airborne sound insulation with some structures was measured in the rhythmic cells of NIISF of RAACS. It is shown that the experimental results correlate well with the results of calculations. The presented method for assessing the airborne sound insulation with such structures can be used for calculating the airborne sound insulation with a wall (brick, concrete, gypsum concrete, cam boards) with the presence of a flexible plate (plasterboard, gypsum fiber board) located at some distance from the wall. The use of this method makes it possible to evaluate the airborne sound insulation with analogue structures without additional studies of these structures in specialized rhythmic cells.

**Keywords:** sound, structure, airborne sound insulation.

Собственная изоляция воздушного шума конструкция-ми (стена + гибкая плита на отnose) определяется [1, 2] по формуле:

$$R = R_1 + \Delta R, \text{ дБ} \quad (1)$$

где  $R_1$  – собственная изоляция воздушного шума стеной, дБ;  $\Delta R$  – дополнительная звукоизоляция при установке гибкой плиты на некотором расстоянии перед стеной, дБ.

Расчет изоляции воздушного шума такой конструкцией выполняется в следующей последовательности:

– строится частотная характеристика изоляции воздушного шума стеной в соответствии с п. 3.2 Свода правил 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий»;

– рассчитывается дополнительная звукоизоляция при установке гибкой плиты на некотором расстоянии перед стеной по формуле (2) в зависимости от частоты. При  $f < f_0$   $\Delta R = 0$ . При  $f > f_0$ :

$$\Delta R = -10 \lg \left[ \left( \frac{f_0}{f} \right)^4 + s_{nT} \cdot n \right], \quad (2)$$

где  $f_0 = 1/(2\pi) \sqrt{k/m_n}$  – частота собственных колебаний, Гц, гибкой плиты с поверхностной плотностью  $m_n$ , кг/м<sup>2</sup>, на упругом основании (воздушном промежутке толщиной  $d$ , м, между стеной и плитой) жесткостью  $k = 0,14/d$ , МПа/м;  $s_{nT}$  – коэффициент излучения гибкой плиты;  $n$  – число связей, соединяющих плиту со стеной.

Коэффициент излучения плиты при ее связи со стеной линейными элементами (рейками или металлическим каркасом) определяется по формуле:

$$s_{nT} = 2/\pi [c_b / (f_{гп} l)], \quad (3)$$

где  $c_b$  – скорость звука в воздухе, м/с;  $f_{гп}$  – граничная частота тонкой плиты, Гц;  $l$  – размер стены в направлении, перпендикулярном линейной связи, м.

Коэффициент излучения плиты при ее точечных связях со стеной, например по маякам, определяется по формуле:

$$s_{nT} = 8/\pi^3 [c_b^2 / (f_{гп}^2 S)], \quad (4)$$

где  $S$  – площадь стены, м<sup>2</sup>.



Таблица 1  
Значения  $\Delta R$ , дБ, для указанных конструкций

Среднегеометрическая частота третьоктавной полосы частот, Гц	Значения $\Delta R$ , дБ	
	Толщина воздушного промежутка 50 мм	Толщина воздушного промежутка 100 мм
100	3,9	7,1
125	6,2	8,2
160	7,8	8,7
200	8,5	9
250	9	9,1
315	9,1	9,1
400	9,1	9,1
500	9,1	9,1
630	9,1	9,1
800	9,1	9,1
1000	9,1	9,1
1250	9,1	9,1
1600	9,1	9,1
2000	9,1	9,1
2500	9,1	9,1
3150	9,1	9,1

**Примечания:**  
 1 – количество маяков при расчете индекса  $R_w$  ( $n=5$ ).  
 2 – динамический модуль упругости минеральной ваты  $1,26 \cdot 10^6$  Па.  
 3 –  $l = 4,3$  м.  
 4 –  $\gamma = 950$  кг/м<sup>3</sup>.  
 5 –  $f_0 = 80$  Гц (воздушный промежуток 50 мм) и  $f_0 = 80$  Гц (воздушный промежуток 100 мм).

При  $f > 3$  значение дополнительной звукоизоляции  $\Delta R = -10 \lg(s_{л.т} n)$  не зависит от частоты. Точечные связи повышают звукоизоляцию больше, чем линейные. Если облицевать стену гибкими плитами на отnose с двух сторон, то значение дополнительной звукоизоляции составит  $2\Delta R$ , дБ.

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты расчета  $\Delta R$ , дБ, для конструкций:

1) кирпичная стена толщиной 125 мм + лист ГКЛ толщиной 12,5 мм, воздушный промежуток между которыми (50 мм) заполнен минераловатными плитами «Акустическая перегородка»;

2) кирпичная стена толщиной 125 мм + лист ГКЛ толщиной 12,5 мм, воздушный промежуток между которыми (100 мм) заполнен минераловатными плитами «Акустическая перегородка».

В лабораторных условиях НИИСФ РААСН (звукомерные камеры для измерения изоляции воздушного шума перегородками) [4] были выполнены измерения для четырех конструкций (основная стена – кирпичная стена толщиной 125 мм), обшитая с одной стороны листами ГКЛ и ГВЛ тол-

щиной 12,5 мм с заполнением воздушного промежутка минераловатными плитами «Акустическая перегородка».

Обшивка кирпичной стены выполнялась с одной стороны по металлическому каркасу фирмы КНАУФ ПС50 и ПС100 с заполнением воздушного промежутка минераловатными плитами толщиной соответственно 50 и 100 мм и плотностью 15 кг/м<sup>3</sup>.

Металлический каркас представляет собой тонкостенный оцинкованный профиль фирмы КНАУФ различного сечения, изготовленный по ТУ 1121-004-04001508–2003. В качестве обшивок применялись гипсокартонные листы (ГКЛ), изготовленные по ГОСТ 6266–97, и гипсоволокнистые листы (ГВЛ), изготовленные по ГОСТ Р51829–2001.

Измерения проводились в реверберационных камерах НИИСФ для измерения звукоизоляции вертикальных строительных конструкций в соответствии с ГОСТ 27296–2012 «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций».

Испытуемая конструкция [3] монтировалась в проеме между камерой высокого уровня (КВУ) и камерой низкого уровня (КНУ). Объем КВУ – 200 м<sup>3</sup>, объем КНУ – 112 м<sup>3</sup>, размер проема 4,3×2,5 м. Камера низкого уровня выполнена по принципу «коробка в коробке» на отдельных фундаментах с резиновыми виброизоляторами. Она отделена от испытываемого ограждения и конструкций камеры высокого уровня, для того чтобы на измеренные результаты не влияла косвенная передача звука по примыкающим конструкциям.

Метод измерения изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями заключается в последовательном измерении и сравнении средних уровней звукового давления в камере высокого (где установлен источник шума) и низкого уровней в третьоктавных полосах частот [4].

Для измерений была использована следующая аппаратура:

– образцовый источник звука фирмы «Брюль и Кьер» (Дания) типа 4224 (зав. № 1126089);

– шумомер-анализатор спектра, виброметр портативный типа ОКТАВА 110А, зав. № А060230.

Вся измерительная аппаратура имеет действующие свидетельства о поверке, выданные Всероссийским научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений.

Изоляция воздушного шума ограждающими конструкциями  $R$ , дБ, рассчитывается [3] по формуле:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg S/A_2, \quad (4)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – средние уровни звукового давления в камерах высокого и низкого уровней соответственно, дБ;  $S$  – поверхность испытываемой конструкции, м<sup>2</sup>, в данном случае

Таблица 2  
Индексы изоляции воздушного шума многослойными перегородками (измеренные и расчетные величины  $R_w$ , дБ)

Шифр перегородки	Профиль	Толщина минеральной ваты, мм	Толщина обшивки, мм	Метод определения звукоизоляции, $R_w$ , дБ	
				Измерение	Расчет
Кирпичная стена в 1/2 кирпича (125 мм) с обшивкой из ГКЛ					
625	ПС50/50	50	1×12,5	56	57
625	ПС 100/50	100	1×12,5	58	59
Кирпичная стена в 1/2 кирпича (125 мм) с обшивкой из ГВЛ					
665	ПС50/50	50	1×12,5	56	57
665	ПС 100/50	100	1×12,5	60	58

$S = 10,75 \text{ м}^2$ ;  $A_2$  – эквивалентная площадь звукопоглощения помещения низкого уровня, определяемая по формуле  $A_2 = 0,16 VT$ , где  $V$  – объем камеры низкого уровня,  $\text{м}^3$ ;  $T$  – время реверберации этого помещения, с.

Индексы изоляции воздушного шума  $R_w$  [5] испытанных конструкций (измеренные и расчетные значения) приведе-

ны в табл. 2, где показано, что результаты расчета хорошо коррелируются с результатами измерений [6]. Следовательно, приведенный в данной статье расчет изоляции воздушного шума стеной с гибкой плитой на отnose может быть рекомендован для расчета изоляции воздушного шума аналогичными конструкциями.

#### Список литературы

1. Борьба с шумом на производстве. М. Машиностроение, 1985. 400 с.
2. Кочкин А.А. Расчет звукоизоляции многослойных конструкций // *Материалы международной научно-практической конференции «Гармонизация европейских и российских нормативных документов по защите населения от повышенного шума»*. Москва – София – Кавала. 2009. С. 75–77.
3. Пороженко М.А. Результаты оценки звукоизолирующих качеств фрагментов акустических панелей в реверберационных камерах НИИСФ РААСН // *Материалы международной научно-практической конференции «Энергосбережение и экология в строительстве и ЖКХ, транспортная и промышленная экология»*. Москва – Будва. 2010. С. 184–187.
4. Клименко В.В. Исследование звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий // *Материалы международной научно-практической конференции «Гармонизация европейских и российских нормативных документов по защите населения от повышенного шума»*. Москва – София – Кавала. 2009. С. 72–74.
5. Анджелов В.Л., Пороженко М.А. К вопросу об оценке изоляции воздушного и ударного шума ограждающими конструкциями // *Материалы научно-технического семинара «Экология, вопросы защиты от шума»*. Севастополь, 2010. С. 22–29.
6. Минаева Н.А. Экспериментальные исследования звукоизоляции пазогребневых плит, обшитых гипсокартонными листами // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. 2010. № 3. С. 194–197.

#### References

1. Reference Noise abatement in manufacturing [Bor'ba s shumom na proizvodstve]. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 400 p.
2. Kochkin A.A. Calculation of the multilayered design sound prooainf. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Garmonizacija evropejskih i rossijskih normativnyh dokumentov po zashhite naselenija ot povyshennogo shuma»*. Moscow – Sofia – Kavalla. 2009, pp. 75–77. (In Russian).
3. Porozhenko M.A. The evaluatipn soundproofing yalities fragments acoustica panels in reverberation chambers NIIAF RAASN. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konfe-rencii «Jenergoberezhenie i jekologija v stroitel'stve i ZhKH, transportnaja i promyshlennaja jekologija»*. Moscow – Budva. 2010, pp. 184–187. (In Russian).
4. Klimenko V.V. Research pf sound insulatipn of the internal enclosure in residential and public buildings. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Garmonizacija evropejskih i rossijskih normativnyh dokumentov po zashhite naselenija ot povyshennogo shuma»*. Moscow – Sofia – Kavalla. 2009, pp. 72–74. (In Russian).
5. Angela V.L., Porozhenko M.A. The question of an insulation airborne and impact sound enclosing structures. *Materialy nauchno-tehnicheskogo seminar «Jekologija, voprosy zashhity ot shuma»*. Sevastopol, 2010, pp. 22–29. (In Russian).
6. Minaeva N.A. Experimental studies soundproofing pazogrebnevyyh rlit, trimmed with plasterboard sheets. *ACADEMIA. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2010. No. 3, pp. 194–197. (In Russian).

24–27 января 2017 | Красноярск



ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В  
XXV СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ВЫСТАВКЕ

**СТРОИТЕЛЬСТВО  
АРХИТЕКТУРА**

ВЕДУЩАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ И ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА  
СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Одновременно пройдет выставка строительной и складской техники  
и оборудования «ТехСтройЭкспо. Дороги»

В ПРОГРАММЕ:

- VI Архитектурно-строительный форум Сибири
- Сибирский фестиваль архитектуры

Организацiонный партнер:



Организатор – ФУ «Красноярский край»



МВДЦ «Сибирь», ул. Авиаторов, 19  
тел.: (391) 22-88-405, 22-88-611  
build@krasfair.ru, www.krasfair.ru

0+

УДК 006.03:628.1/3

Д.Б. ФРОГ, канд. техн. наук (dbf135@ya.ru), Е.Н. ЖИРОВ, инженер (zhirov.e@res-eco.ru)  
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, Москва, Локомотивный пр., 21)

## Новое в нормировании отрасли «водоснабжение и канализация». Актуализация сводов правил

*Приведена основная информация о предпосылках, особенностях и результатах работы по актуализации сводов правил «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и «Канализация. Наружные сети и сооружения», действующих в настоящее время в России. Указаны так же методические материалы, разработанные в развитие данных сводов правил по применению нормативных технических документов при проектировании и строительстве зданий и сооружений. Дана оценка результатов проведенных мероприятий и ожидаемая экономическая (социальная) эффективность по отрасли водоснабжения и канализации.*

**Ключевые слова:** водоснабжение, канализация, нормативы, стандартизация, СНиП, строительство.

D.B. FROG, Candidate of Sciences (Engineering) (dbf135@ya.ru), E.N. ZHIROV, Engineer, (zhirov.e@res-eco.ru)  
Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and construction sciences (RAACS)  
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### New in Regulation in the Field of "Water Supply and Sewerage". Actualization of Codes of Practice

Basic information on preconditions, features, and results of the work related to actualization of Codes of Practice "Water Supply. Outer Networks and Facilities" and "Sewerage. Outer Networks and Facilities", acting in Russia at present, is presented. Methodical materials developed for the development of these Codes of Practice, concerning the use of normative technical documents in the course of designing and construction of buildings and facilities, are also listed. The assessment of the results of measures conducted and expected economic (social) efficiency in the field of water supply and sewerage is made.

**Keywords:** water supply, sewerage, standards, standardization, SNiP, construction.

Проведение прогрессивной технической политики в области капитального строительства и реконструкции жилья в России подразумевает высокие темпы преобразований в жилищно-коммунальном хозяйстве. Однако острота проблем в сфере ЖКХ не снижается и отмечается продолжение ветшания жилищного фонда и снижение надежности инженерных систем. Причиной этого отчасти является дефицит, образовавшийся в техническом нормировании за последние 20 лет. Для преодоления существующего отставания в технологическом развитии требуется пересмотр и ревизия устаревших нормативов и правил проектирования инженерных систем, в частности инженерных систем водоснабжения и канализации.

В 2015 г. введены в действие актуализированные редакции СП 31.1333.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и СП 32.1333.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» вступившим в силу приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30.03.2015 г. № 365 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Данное событие совпало с активной фазой проведения работ по актуализации и внесению изменений в указанные своды правил. Работы выполнялись в рамках государственного задания на выполнение Федеральным

автономным учреждением «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» (ФАУ «ФЦС») услуг (работ) на 2015 г., утвержденного Минстроем России 23.04.2015 г.

Согласно плану работ в 2015 г. были актуализированы:

– СП 32.1333.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» изменением № 1, которое подготовлено и представлено ООО «РЭСЭКОСТРОЙ» (67 пунктов);

– СП 31.1333.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» изменением № 1, которое выполнено ОАО «МосводоканалНИИпроект» по части нормирования применения труб и фитингов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ);

– СП 31.1333.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» изменением № 2, которое разработано специалистами ООО «РЭСЭКОСТРОЙ» (110 пунктов).

При внесении изменений в СП 31.1333.2012 и СП 32.1333.2012 конкретизировалась взаимосвязь с другими действующими законодательными актами и нормативными документами, обновлялся перечень связанных со сводами правил ссылочных документов.

Внесение изменений в своды правил имело также целью реализацию ряда положений следующих законов и документов: «Градостроительный кодекс Российской Федерации», Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», Федеральный закон от 30.12.2009 г., приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 30.12.2009 г. № 624

«Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства»; постановление Правительства РФ от 19.04.2012 г. № 350 «О федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» (с изменениями и дополнениями); постановление Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 326 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы».

В изменениях к сводам правил разработчиками учтены положения вступивших в силу новых сводов правил (СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология. Актуализированная версия и др.), наработки ряда прогрессивных региональных водоканалов [1] и экспертных организаций отрасли, результаты научных исследований последних лет [2, 3], результаты систематизации и анализа особенностей технологических решений [4, 5], конструкций и требований к ним, в том числе по надежности, безопасности и энергоэффективности [6, 7].

В работе по формированию пакета изменений использован научно-производственный опыт [3, 8, 9, 10, 11, 12], приобретенный ведущими специалистами отраслевых организаций (включая РАВВ), научных и проектных институтов [13, 9].

Своды правил по водоснабжению и канализации наружных сетей и сооружений являются емкими и многоплановыми, затрагивают все без исключения отрасли народного хозяйства и регулируют целый спектр подразделов, что, в свою очередь, требует от разработчиков особого комплексного подхода. Эту задачу удалось решить благодаря участию в процессе ряда ведущих специалистов и экспертов в отрасли водоснабжения и канализации: Д.А. Даниловича (РАВВ); О.Г. Примина (ОАО «МосводоканалНИИпроект»), В.С. Алексеева, В.Н. Швецова, Л.М. Верещагина, Ю.А. Меншутина (ГНЦ РФ ОАО «НИИ ВОДГЕО»); М.И. Алексеева (СПбГАСУ); Б.В. Боревского (ГИДЭК); Л.Г. Дерюшева (МГСУ), Б.Н. Фрога (РГГРУ); В.Г. Иванова, Н.А. Черникова (ПГУПС); И.Л. Шубина, Н.П. Умняковой (НИИСФ РААСН); Д.И. Привина, Л.А. Карпухиной и др.

По предложениям участников общественных слушаний разработчиками внесены изменения, связанные с развитием синтетических полимерных материалов, техники и технологий, автоматизации, появлением новых реагентов, фильтрующих и сорбционных материалов, используемых в изготовлении аппаратов водоподготовки и трубопроводов систем водоснабжения и канализации.

Глубокой переработке подверглись основные положения разделов сводов правил, связанных с нормами проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) водоподготовки и очистки сточных вод [6].

С целью повышения общего уровня механизации изменения в сводах правил затронули не только основные, но и вспомогательные технологические процессы водоподготовительных и очистных канализационных станций, связанные с приготовлением реагентов, сменой загрузок фильтров и обезвоживанием (утилизацией) осадков.

Авторами изменений уделено внимание опыту применения на территории РФ зарубежных технологий в области водоснабжения и канализации. Оценке подлежали спецификации, технологические схемы и эксплуатационные особенности ряда завершенных объектов водоснабжения и нормально функционирующих не менее пяти лет [12].

Ряд предлагаемых изменений исправляет ранее допущенные неточности и опечатки в расчетных формулах, а также исключает двоякое толкование некоторых формулировок. Уточняются и актуализируются вопросы общепринятой терминологии в отрасли водоснабжения и канализации.

Отдельно следует отметить и подчеркнуть введение предложенного Минстроем России принципиального изменения о «недопустимости использования восстановленных стальных труб и других, бывших в употреблении видов металлоконструкции (профилей, балок, листов, полос, свай, шпунтов и др.) в проектной и рабочей документации на строительство, реконструкцию и капитальный ремонт зданий и сооружений повышенного и нормального уровня ответственности».

В дополнение к внесенным изменениям в своды правил выполнена разработка сопутствующих методических материалов по применению нормативных технических документов при проектировании и строительстве зданий и сооружений:

- методическое пособие «Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты», разработчик ГНЦ РФ ОАО «НИИ ВОДГЕО» [2];

- методическое пособие «Классификатор тонкослойных модулей для наружных сетей водоснабжения», разработчик лаборатория № 35 НИИСФ РААСН при участии кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» ПГУПС [4].

Перечисленные методические материалы опубликованы на сайте ФАУ ФЦС, а содержание и объем всех выполненных работ позволяет ожидать экономическую (социальную) эффективность по отрасли водоснабжения и канализации, а именно:

- повышение общего уровня проектных решений;
- увеличение технологической эффективности проектируемых и реконструируемых комплексов;
- повышение энергоэффективности строительных конструкций сооружений;
- повышение эксплуатационной надежности и увеличение безремонтных периодов службы конструкций и оборудования;
- снижение удельных энергозатрат и расхода теплоносителей.

В 2016 г. ФАУ ФЦС планирует опубликовать новую редакцию сводов правил СП 31.1333.2012 и СП 32.1333.2012. Тем не менее на базе лаборатории «Технологическая интенсификация объектов водоснабжения и канализации» при НИИСФ РААСН производится сбор предложений от заинтересованных лиц и организаций, систематизируются технические (технологические) новшества и накопленный в отрасли положительный научно-практический опыт. Все поступающие предложения будут проанализированы и учтены при формировании очередной редакции актуализированных сводов правил по водоснабжению и канализации.



### Список литературы

1. Платонова О.А., Кузьмина Н.П., Ищенко И.Г., Фрог Д.Б., Тихонов О.В. Повышение эффективности технологии очистки воды на водопроводных очистных сооружениях г. Иваново // *Проекты развития инфраструктуры города. Экологические аспекты инженерной инфраструктуры*. Сб. научных трудов. М.: Прима-Пресс-М. 2006. Вып. 6. С. 47–53.
2. Меншутин Ю.А., Верещагина Л.М., Керин А.С., Фомичева Е.В., Логунова А.Ю. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М.: Минстрой РФ. 2015. 146 с.
3. Иванов В.Г., Семенов В.П., Симонов Ю.М. Применение тонкослойных отстойников в целлюлозно-бумажной промышленности. М.: Лесная промышленность. 1989. 176 с.
4. Фрог Д.Б. Классификатор тонкослойных модулей для наружных сетей водоснабжения. М.: Минстрой РФ. 2015. 46 с.
5. Привин Д.И., Салоп А.М., Савельев Г.С. Современная АСУ ТП для систем водоснабжения и водоотведения // *Проекты развития инфраструктуры города. МосводоканалНИИПроект – 75 лет в области проектирования систем инженерного обеспечения города*. Сб. научных трудов. М.: Экспо-Медиа-Пресс. 2014. Вып. 14. С. 141–152.
6. Савин В.К. Строительная физика. Энергоперенос. Энергоэффективность. Энергосбережение. М.: Лазурь. 2005. 432 с.
7. Шубин И.Л., Спиридонов А.В. Проблемы энергосбережения в российской строительной отрасли // *Энергосбережение*. 2013. № 1. С. 15–21.
8. Фрог Б.Н., Фрог Д.Б., Скурлатов Ю.И. Эколого-химические аспекты процессов водоочистки и водоподготовки // *Проекты развития инфраструктуры города. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды*. Сб. научных трудов. М.: Прима-Пресс-М. 2004. Вып. 4. С. 110–126.
9. Данилович Д.А., Климова Л.А. Инженерные решения при разработке проектов модернизации очистных сооружений системы водоотведения // *Водоснабжение и канализация*. 2014. № 3–4. С. 52–57.
10. Фрог Д.Б., Фомичев С.А., Бабаев А.В. Перспективные направления развития технологии и проектирования в водохозяйственном комплексе города // *Проекты развития инфраструктуры города. Сб. научных трудов*. М.: Прима-Пресс Экспо. 2008. Вып. 8. С. 88–90.
11. Данилович Д. А. Российские законы и практика правоприменения в области очистки сточных вод: найти выход из тупика // *Экологические нормы. Правила. Информатика*. 2010. № 5. С. 22–29.
12. Фрог Н.П., Фрог Б.Н., Фрог Д.Б. Обеспечение населения России физиологически полноценной питьевой водой (проект «Третий кран») // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2009. № 1. С. 56–59.
13. Примин О.Г., Алиференков А.Д., Отставнов А.А. Нормативное обеспечение применения в России труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом // *ВСТ*. 2015. № 5. С. 24–29.

### References

1. Platonova O.A., Kuz'mina N.P., Ishchenko I.G., Frog D.B., Tikhonov O.V. Increasing efficiency of water treatment technologies in water treatment facilities of city Ivanovo *Projects of development of infrastructure of the city. Ecological aspects of engineering infrastructure*. Collection of scientific works. Moscow: Prima-press-M. 2006. Vol. 6, pp. 47–53. (In Russian).
2. Menshutin Yu.A., Vereshchagina L.M., Kerin A.S., Fomicheva E.V., Logunova A.Yu. Rekomendatsii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i ochistki poverkhnostnogo stoka selitebnykh territorii, ploshchadok predpriyatii i opredeleniyu uslovii vypuska ego v vodnye ob'ekty [Recommendations on the calculation systems of collection, adduction and cleaning runoff water on residential territories, areas of businesses and on conditions of his release into water subjects]. Moscow: Minstroy. 2015. 146 p.
3. Ivanov V.G., Semenov V.P., Simonov Yu.M. Primenenie tonkosloinykh otstoinikov v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti [Application of thin-layer sedimentation basins in the pulp and paper industry]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost]. 1989. 176 p.
4. Frog D.B. Klassifikator tonkosloinykh modulei dlya naruzhnykh setei vodosnabzheniya [Classifier thin-layer module for external water supply]. Moscow: Minstroy. 2015. 46 p.
5. Privin D.I., Salop A.M., Savel'ev G.S. Modern APCS for water supply and canalization systems. *Projects of development of infrastructure of the city. Mosvodokanalniiprojekt – 75 years in the field of design of systems of engineering support of the city. Collection of scientific works*. Moscow: Expo-Media-Press. 2014. Vol. 4, pp. 141–152. (In Russian).
6. Savin V.K. Stroitel'naya fizika. Energoperenos. Energoeffektivnost'. Energosberezhenie. Building physics [Construction physics. Power transfer. Energy efficiency. Energy saving]. Moscow: Lazur. 2005. 432 p.
7. Shubin I.L., Spiridonov A.V. Energy saving problems in the Russian construction branch. *Energosberezhenie*. 2013. No. 1, pp. 15–21. (In Russian).
8. Frog B.N., Frog D.B., Skurlatov U.I. Ecological and chemical aspects of the processes of water treatment. *Projects of development of infrastructure of the city. Comprehensive programs and engineering decisions in the field of ecology of an urban environment. Collection of scientific works*. Moscow: Prima-press-M. 2004. Vol. 4, pp. 110–126. (In Russian).
9. Danilovich D.A., Klimova L.A. Engineering solutions in the development of projects of modernization of the system wastewater treatment plant. *Vodosnabzhenie i kanalizatsiya*. 2014. No. 3–4, pp. 52–57. (In Russian).
10. Frog D.B., Fomichev S.A., Babaev A.V. Perspective directions of development of technology and design in the water complex city. *Projects of development of infrastructure of the city. Collection of scientific works*. Moscow: Prima-press-Expo. 2008. Vol 8, pp. 88–90. (In Russian).
11. Danilovich D.A. Russian law enforcement and practices in the field of wastewater treatment: the impasse. *Ekologicheskie normy. Pravila. Informatsiya*. 2010. No. 5, pp. 22–29. (In Russian).
12. Frog N.P., Frog B.N., Frog D.B. Ensuring Russian population physiologically full drinking water (the “third water faucet”). *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2009. No. 1, pp. 56–59. (In Russian).
13. Primin O.G., Aliferenkov A.D., Otstavnov A.A. Regulatory enforcement in Russia pipes made of ductile cast iron with Nodular graphite. *VST*. 2015. No. 5, pp. 24–29. (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»<sup>®</sup> был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)



Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://rifsm.ru/page/7/>

20-23  
сентября

г. Уфа

# УралСтройИндустрия

XXVI международная выставка




# Недвижимость-2016

IX специализированная выставка

 #БВК #стройБВК

 **БВК**  
БАШКИРСКАЯ  
ВЫСТАВОЧНАЯ  
КОМПАНИЯ

Тел./факс: (347) 246-42-29,  
246-42-38, 246-42-37  
e-mail: [stroy@bvkepo.ru](mailto:stroy@bvkepo.ru)  
[www.stroybvk.ru](http://www.stroybvk.ru)

Место проведения  
**ВДНХ**   
ул. Менделеева, 158





# ACUUS 2016

15<sup>th</sup> World Conference. Saint Petersburg

12–15 сентября 2016 года  
Россия | Санкт-Петербург

## 15-я Всемирная конференция

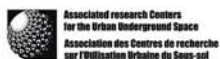
Объединения исследовательских центров подземного пространства мегаполисов

Ключевая тема конференции:

# Подземная урбанизация как необходимое условие устойчивого развития городов



От имени:



Объединение исследовательских центров подземного пространства мегаполисов

Организатор:



НП «Объединение подземных строителей»  
Тел.: +7 (812) 325 05 65

Оператор:



Компания «ПРИМЭКСПО»,  
в составе Группы компаний ITE  
Тел.: +7 (812) 380 60 05/00

Генеральный информационный отраслевой партнер:



info@acuus2016.com  
acuus2016.com

0+