

Научно-технический журнал

Издается с 2003 года.

Выходит шесть раз в год.

**№3 (71) 2017**  
**(май-июнь)**

<b>Редакционный совет:</b>
<b>Голенков В.А.</b> д.т.н., проф., председатель
<b>Радченко С.Ю.</b> д.т.н., проф., зам. председателя
<b>Борзенков М.И.</b> к.т.н., доц., секретарь
<b>Астафичев П.А.</b> д.ю.н., проф.
<b>Иванова Т.Н.</b> д.т.н., проф.
<b>Киричек А.В.</b> д.т.н., проф.
<b>Колчунов В.И.</b> д.т.н., проф.
<b>Константинов И.С.</b> д.т.н., проф.
<b>Новиков А.Н.</b> д.т.н., проф.
<b>Попова Л.В.</b> д.э.н., проф.
<b>Степанов Ю.С.</b> д.т.н., проф.

<b>Главный редактор:</b>
<b>Колчунов В.И.</b> акад. РААСН, д.т.н., проф.

<b>Заместители главного редактора:</b>
<b>Данилевич Д.В.</b> к.т.н., доц.
<b>Колесникова Т.Н.</b> д. арх., проф.

<b>Редколлегия:</b>
<b>Бок Т.</b> д.т.н., проф. (Германия)
<b>Бондаренко В.М.</b> акад. РААСН, д.т.н., проф.
<b>Гордон В.А.</b> д.т.н., проф.
<b>Емельянов С.Г.</b> советник РААСН, д.т.н., проф.
<b>Карпенко Н.И.</b> акад. РААСН, д.т.н., проф.
<b>Коробко А.В.</b> д.т.н., проф.
<b>Король Е.А.</b> чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
<b>Римшин В.И.</b> чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
<b>Сергейчук О.В.</b> д.т.н., проф. (Украина)
<b>Серпих И.Н.</b> д.т.н., проф.
<b>Тамразян А.Г.</b> д.т.н., проф.
<b>Тур В.В.</b> д.т.н., проф. (Белоруссия)
<b>Турков А.В.</b> д.т.н., проф.
<b>Федоров В.С.</b> акад. РААСН, д.т.н., проф.
<b>Федорова Н.В.</b> советник РААСН, д.т.н., проф.
<b>Чернышов Е.М.</b> акад. РААСН, д.т.н., проф.
<b>Шах Р.</b> д.т.н., проф. (Германия)

<b>Ответственный за выпуск:</b>
<b>Савин С.Ю.</b> к.т.н.

**Адрес редакции:**

302006, Россия, г. Орел,  
ул. Московская, 77  
Тел.: +7 (4862) 73-43-49  
www.build.oreluniver.ru  
E-mail: str\_and\_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.  
Свидетельство:  
ПИ №ФС 77-67169 от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс 86294 по объединенному каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2017

# СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени И.С. ТУРГЕНЕВА»**  
(ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»)

## Содержание

### Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

<b>Тимофеев Д.В., Малешина Е.Г.</b> Расчет глубины промерзания грунтов с различными характеристиками в климатических условиях Москвы .....	3
<b>Федоров В.С., Красовицкий М.Ю., Левитский В.Е.</b> Сравнительный анализ расчёта предварительно напряжённых железобетонных конструкций по образованию трещин по старым и новым нормам .....	8

### Безопасность зданий и сооружений

<b>Демьянов А.И., Колчунов В.И., Сальников А.С., Михайлов М.М.</b> Расчетные модели статико-динамического деформирования железобетонной конструкции при кручении с изгибом в момент образования пространственной трещины.....	13
<b>Куприянов В.Н., Шафигуллин Р.И.</b> Исследование электромагнитного фона радиочастотного диапазона в жилой застройке .....	23
<b>Римшин В.И., Заруба В.М., Лапшин Г.В.</b> Технические аспекты обследования пятиэтажного кирпичного здания .....	31

### Архитектура и градостроительство

<b>Гагарин В.Г., Широков С.А.</b> Расчет температуры воздуха остекленной лоджии для определения энергосберегающего эффекта .....	36
<b>Гагарина О.Г., Коркина Е.В.</b> Оценка теплоустойчивости ограждающих конструкций и помещений зданий частотным методом .....	43
<b>Гусев В.П., Жоголева О.А., Леденев В.И.</b> Проектирование шумозащиты в зданиях с подвесными потолками технологического назначения.....	49
<b>Корнилов Т.А., Кычкин И.Р., Овчинникова О.Н.</b> Повышение теплозащиты цокольного перекрытия каркасно-монолитных зданий с холодными подпольями.....	58
<b>Кочкин А.А., Кочкин Н.А., Киряткова А.В.</b> Исследование звукоизоляции светопрозрачных вибродемптиранных элементов и ограждающих конструкций из них.....	68
<b>Окунев А.Ю., Левин Е.В., Шагинян К.С.</b> Исследование теплопереноса в основании здания с неотапливаемым подвалом.....	75
<b>Субботкин А.О., Щиржецкий Х.А.</b> Расчет дополнительного фонда звукопоглощения в шумных помещениях.....	82
<b>Уйма А., Лис А.</b> Мониторинг результатов уменьшения энергопотребления в здании школы.....	86
<b>Халимов О.З., Халимова Н.М.</b> К вопросу о типологии дефектов теплопотерь через ограждающие конструкции индивидуальных зданий.....	94
<b>Шубин И.Л., Гребенкин А.М., Гребенкина Е.В.</b> Принципы проектирования шумозащитных сооружений в городской среде.....	101

### Строительные материалы и технологии

<b>Белаш Т.А., Иглина А.А.</b> Сопоставительная оценка теплотехнических качеств ограждающих конструкций в г. Якутске .....	107
<b>Богомолова Л.К., Гузова Э.С., Ильницкий В.Д.</b> О долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций для современных фасадных систем под действием климатических факторов .....	112
<b>Фрог Д.Б.</b> Анализ методик и программ для расчёта и проектирования наружных безнапорных сетей водоотведения для актуализации СП 32.13330.2012.....	121

Scientific and technical journal  
The journal is published since 2003.  
The journal is published 6 times a year.

**№3 (71) 2017**  
**(May-June)**

# BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – Federal State Budgetary Educational Institution  
of Higher Education  
**«Orel State University named after I.S. Turgenev»**  
**(Orel State University)**

*Editorial council:*

**Golenkov V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
president  
**Radchenko S.Y.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
vice-president  
**Borzenkov M.I.** Candidat Sc. Tech.,  
Assistant Prof.  
**Astafichev P.A.** Doc. Sc. Law., Prof.  
**Ivanova T.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Kirichek A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Konstantinov I.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Novikov A.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Popova L.V.** Doc. Ec. Tech., Prof.  
**Stepanov Y.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.

*Editor-in-chief*

**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

*Editor-in-chief assistants:*

**Danilevich D.V.** Candidat Sc. Tech., Assis-tant Prof.  
**Kolesnikova T.N.** Doc. Arc., Prof.  
**Korobko V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

*Editorial committee*

**Bock T.** Doc. Sc. Tech., Prof. (**Germany**)  
**Bondarenko V.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Gordon V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Emelyanov S.G.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Karpenko N.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Korobko A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Korol E.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Rimshin V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Sergeychuk O.V.** Doc. Sc. Tech., Prof. (**Ukraine**)  
**Serpik I.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Tamrazyan A.G.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Tur V.V.** Doc. Sc. Tech., Prof. (**Belorussia**)  
**Turkov A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Fyodorov V.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Fyodorova N.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Chernyshov E.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Schach R.** Doc. Sc. Tech., Prof. (**Germany**)

*Responsible for edition:*

**Savin S.Yu.** Candidat Sc. Tech

The edition address: 302006, Orel,  
Street Moscow, 77  
+7 (4862) 73-43-49  
www.build.oreluniver.ru  
E-mail: str\_and\_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service  
for monitoring communications, information  
technology and mass communications  
The certificate of registration:  
ПИ №ФС 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»  
86294

© Orel State University, 2017

Journal is included into the List of the Higher Examination Board of the Ministry of Education and Science of Russian Federation  
for the group of scientific specialties 05.23.00 – Building and architecture

## Contents

### **Theory of engineering structures. Building units**

- |                                                                                                                                                                                           |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <b>Timofeev D., Malyavina E.</b> Frosting deep calculations for soils with various parameters at Moscow climate .....                                                                     | 3 |
| <b>Fedorov V., Krasovickiy M., Levitskiy V.</b> Comparative analysis of calculation of preliminated stressed reinforced concrete structures for earning cracks on old and new norms ..... | 8 |

### **Building and structure safety**

- |                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Dem'yanov A., Kolchunov V.I., Salnikov A., Mihailov M.</b> The calculation models of static and dynamic deformation reinforced concrete constructions in torsion with bending at the time of the spatial crack formation..... | 13 |
| <b>Kupriyanov V., Shafigullin R.</b> Study of the electromagnetic background of the radio frequency range in the residential development .....                                                                                   | 23 |
| <b>Rimshin V., Zaruba V., Lapshin G.</b> Technical aspects of the survey five-storage brick buildings .....                                                                                                                      | 31 |

### **Architecture and town-planning**

- |                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gagarin V., Shirokov S.</b> Calculation of air temperature of glazed logges for determination of energy-saving effect .....                                | 36  |
| <b>Gagarina O., Korkina E.</b> Estimation of heat stability of enclosing structures and rooms of buildings by frequency method .....                          | 43  |
| <b>Gusev V., Zhogoleva O., Ledenev V.</b> Designing noise protection in buildings with suspended ceilings for technological purposes.....                     | 49  |
| <b>Kornilov T., Kychkin I., Ovchinnikova O.</b> Increase in a thermal insulation of basement floor of frame-monolithic buildings with ventilated cellars..... | 58  |
| <b>Kochkin A., Kochkin N., Kiryatkov A.</b> Research of sound insulation of translucent vibrodempfirovanny elements i the protecting designs from them.....   | 68  |
| <b>Okunev A., Levin E., Shaginyan K.</b> Investigation of heat transfer via ground in building with unheated basement.....                                    | 75  |
| <b>Subbotkin A., Schirjetsky Ch.</b> Calculation of additional fund of sound absorption in noisy places.....                                                  | 82  |
| <b>Ujma A., Lis A.</b> Monitoring the results of reduction of energy consumption in the school building.....                                                  | 86  |
| <b>Khalimov O., Khalimova N.</b> To the question of the typology of defects thermal threat through the fencing construction.....                              | 94  |
| <b>Shubin I., Grebenkin A., Grebenkina E.</b> Principles of design of noise barriers in an urban environment.....                                             | 101 |

### **Construction materials and technologies**

- |                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Belash T., Iglina A.</b> Comparison of thermal engineering properties of framing structures in Yakutsk.....                                                                         | 107 |
| <b>Bogomolova L., Gusova E., Ilnitsky V.</b> About durability of elements of the translucent protecting designs for modern front systems under the influence of climatic factors ..... | 112 |
| <b>Frog D.</b> Analysis of methods and programs for calculation and design of external non-pressurized sewage for actualization of SP 32.1330.2012.....                                | 121 |

# ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 699.88

ТИМОФЕЕВ Д.В., МАЛЯВИНА Е.Г.

### **РАСЧЁТ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ МОСКВЫ**

*Рассчитана глубина промерзания грунтов в Москве для ряда песков, супесей, и суглинков. Расчёт выполнялся численным методом конечных разностей (метод балансов). Количество незамерзшей влаги учитывалось согласно СП 25.1333.2012. В качестве климатических граничных условий использовался «типовий» год. Для сравнения приведены глубины промерзания грунтов, рассчитанные по инженерной методике. Выявлено, что плотность, влажность, а также засоленность грунтов сильно влияют на глубину промерзания, и это не учтено в инженерной методике. При температуре замерзания грунта, влага замерзает только в наиболее насыщенных влагой грунтах. Полученные глубины промерзания, рассчитанные с учетом плотности, влажности и засоленности грунта имеют значения как меньшие, так и большие значений, полученных без учета перечисленных факторов.*

**Ключевые слова:** промерзание грунтов, метод балансов, незамерзшая влага, климатический «типовий» год, песок, супесь, суглинок, засоленность грунтов.

**Введение.** Глубина сезонного промерзания грунта используется во многих случаях, в том числе для определения глубины заложения фундаментов здания, глубины прокладки канализационных трубопроводов, глубины утепления наружных стен зданий в грунте. Этой задаче посвящены работы [1–3], и другие. В работах [1, 2] описана программа, решающая задачу осадки здания, и связанную с ней задачу промерзания грунтов при помощи трёхмерных численных конечноэлементных расчётов. Программный комплекс учитывает постепенное замерзание влаги в толще грунта, миграцию влаги к фронту промерзания, но основан на более ранней версии СП 25.13330 [4], где не учитывается засоленность грунта. В работе [3] выполнены расчёты промерзания грунта для трёхмерной области методом конечных элементов, и выполнен аналитический расчёт для одного направления, но не учтено постепенное замерзание грунта.

Согласно СП 22.13330.2011 [5] глубина промерзания, если она ниже 2,5 метров, определяется по сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур, принимаемых по СП 131.13330.2012 [6], и при помощи коэффициента, значения которого различны для разных типов грунтов. Влияние плотности, суммарной влажности, влажности на границе раскатаивания, засоленности грунта в формуле не учитывается. Помимо вышеперечисленных параметров на характеристики грунта влияют и другие параметры, такие как содержание кварца [7]. Для того чтобы иметь представление, как изменяется глубина промерзания грунта, в зависимости от перечисленных выше факторов был выполнен численный расчёт в одном направлении (по глубине) численным методом балансов.

Рядом метеорологических станций предоставлена информация о температуре на глубинах 0,8, 1,6 и 3,2 м [8], однако для Московской станции (ВДНХ) данных нет. Измерение глубины промерзания грунтов затруднено неизвестностью, в какое именно время года следует проводить измерение: тепловая инерция грунтов сильно варьируется, и величина, измеренная, например, в середине марта может не быть минимальной для некоторых типов грунтов. В тоже время известно, что по результатам предпроектных изысканий в проектах для московского региона принимается глубина промерзания 1,8 м и даже более 2,0 м.

**Методика численного расчета.** Одномерный расчёт промерзания грунтов в Москве выполнен конечноразностным методом балансов [9]. Схема неявная, консервативная, и поэтому подходит для случая изменяющихся коэффициентов температуропроводности. Замерзание и оттаивание грунта учитывалось при помощи метода сглаживания его теплофизических характеристик [10]. Температура замерзания грунта находилась в конце интервала сглаживания. Получившуюся кривую зависимости температуропроводности от температуры представляли в виде

гетерогенного сплайна: данные для температуры ниже предполагаемой точки замерзания представлены в виде монотонного сплайна [11], выше точки замерзания, в виде прямых линий. При процедуре сглаживания характеристики возможны два варианта событий.

1) *Количество незамёрзшей жидкости в точке замерзания больше суммарной влажности талого грунта.* В таком случае замерзание поровой влаги в грунте начнётся при более низких температурах чем нормативная температура замерзания. При помощи метода золотых сечений [8] и формулы Б.4 СП 25.13330 [4] находится реальная температура начала замерзания грунта. Зависимость количества незамёрзшей влаги от температуры аппроксимируется монотонным кубическим сплайном [10]. Величина объёмной теплоёмкости,  $C_v$ , Дж/(°C·м<sup>3</sup>), находится как:

$$C'_v = C_v + \frac{\partial W_w}{\partial T} \cdot \rho_f \cdot L_0 \cdot 1000.0,$$

где  $C_v$  — объёмная теплоёмкость грунта без учёта незамёрзшей влаги, Дж/(°C·м<sup>3</sup>);  $\frac{\partial W_w}{\partial T}$  — доля количества влаги, замерзающей при температуре рассматриваемой точки, д.е. от плотности грунта — берётся из сплайна;

$$L_0 = 3,35 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг} — \text{значение удельной теплоты фазовых превращений вода-лед}; \\ \rho_f — \text{плотность мёрзлого грунта, г/см}^3.$$

Разрыв второго рода между кривыми ниже и выше точки замерзания сглаживается прямой. Величина температуропроводности  $a$ , м<sup>2</sup>/с, в каждой точке построения аппроксимирующего сплайна находится по формуле

$$a = \lambda / C'_v,$$

где  $\lambda$  — теплопроводность грунта в рассматриваемой точке, Вт/(м·°C).

2) *Количество незамёрзшей жидкости в точке замерзания больше суммарной влажности грунта.* В таком случае кривая коэффициентов температуропроводности ниже точки замерзания находится аналогично предыдущему случаю, а влага, замёрзшая в точке замерзания, учитывается местным увеличением теплоемкости грунта на интервале выше точки замерзания.

В описании граничных условий на поверхности земли были приняты климатические данные «типового» года [11]. За начальную была принята температура 4 °C. Шаги по координате до 30 метров глубины приняты равными 0,2 метра, от 30 до 100 — 0,5 метров. Расчёт проводился на временном отрезке в течение 8 лет с шагом в 30 минут.

**Определение характеристик грунта.** При понижении температуры грунта ниже температуры замерзания, часть поровой влаги в нём остаётся незамёрзшей. Для песков, супесей, суглинков и глин эта часть не зависит от суммарной влажности грунта [13, 14]. При дальнейшем понижении температуры она постепенно кристаллизуется. В приложении Б СП 25.13330 [4] приведена методика определения теплофизических характеристик грунтов с учётом этого явления. Исходными данными методики служат следующие величины: плотность сухого талого и замёрзшего грунтов,  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>; суммарная влажность грунта  $w_{tot}$ , д.е.; влажность на границе раскачивания  $w_p$ , д.е., степень засоленности грунта:  $D_{sal}$ , %, число пластичности грунта,  $I_p$ . В расчёте исходные значения плотности  $\rho$  и суммарной влажности  $w_{tot}$  принимались из значений таблицы Б.8 СП 25.13330 [4]. Степень засоленности и тип грунта также брались из шапки таблицы Б.8, и с учетом данных ГОСТ 25100 [15] вычислялись значения  $I_p$  и  $D_{sal}$ ,  $w_p$ , как средние из классификационных диапазонов.

**Результаты расчёта.** Результаты расчёта приведены в таблицах 1 – 3. В таблицах раз мерность плотности грунта, кН/м<sup>3</sup>, соответствует принятой в [5]. Для сравнения с результатами расчета, учитывающего плотность, влажность и засоленность грунта, приведена глубина промерзания, рассчитанная по инженерной методике [5]. Из таблиц видно, что засоленность и влажность играют большую роль в величине глубины промерзания, а плотность грунта незначительную. Фазовый переход жидкости при температуре замерзания грунта происходит только в случаях с самым большим из рассмотренных содержанием влаги в грунтах. Торможение промерзания грунта при фазовом переходе проявляется незначительно по сравнению с влиянием возрастания коэффициента теплопроводности более увлажнённых грунтов. Поэтому при увеличении влажности глубина промерзания грунта возрастает. Для песков значение глубины промерзания, полученное по инженерной методике, соответствует сильнозасоленным грунтам с влажностью (0,1 — 0,15). Для супесей и глин рассчитанное по инженерной методике значение соот-

ветствует среднезасоленным грунтам с высоким содержанием влаги (0,3 — 0,25), или слабозасоленным с низким содержанием (0,05 — 0,1).

Таблица 1 – Промерзание песков с разной плотностью, влажностью, и засоленностью

Плотность су- хого грунта, кН/м <sup>3</sup>	Суммарная влажность грунта, д.е.	Глубина промерзания грунта, м,			
		по методике [5]	незасо- ленного	слабоза- соленного	среднеза- соленного
14	0,25	1,436	2,7	2,1	1,5
14	0,2	1,436	2,5	1,9	1,3
14	0,15	1,436	2,5	1,9	1,3
14	0,1	1,436	2,1	1,5	1,1
14	0,05	1,436	1,5	1,1	0,7
16	0,25	1,436	2,7	2,1	1,7
16	0,2	1,436	2,5	1,9	1,5
16	0,15	1,436	2,5	1,7	1,3
16	0,1	1,436	2,1	1,5	1,1
16	0,05	1,436	1,7	1,1	0,7
18	0,2	1,436	2,7	2,1	1,5
18	0,15	1,436	2,7	1,9	1,3
18	0,1	1,436	2,3	1,7	1,3
18	0,05	1,436	1,9	1,3	0,7

Таблица 2 – Промерзание супесей, с разной плотностью, влажностью и засоленностью

Плотность су- хого грунта, кН/м <sup>3</sup>	Суммарная влажность грун- та, д.е.	Глубина промерзания грунта, м,			
		по методике [5]	незасо- ленного	слабоза- соленного	среднеза- соленного
14	0,30	1,340	2,1	1,9	1,5
14	0,25	1,340	2,1	1,9	1,3
14	0,20	1,340	2,1	1,7	1,3
14	0,15	1,340	1,9	1,5	1,1
14	0,1	1,340	1,7	1,3	0,9
14	0,05	1,340	1,3	0,9	0,5
16	0,25	1,340	2,1	1,7	1,3
16	0,2	1,340	1,9	1,7	1,1
16	0,15	1,340	1,9	1,5	1,1
16	0,1	1,340	1,7	1,3	0,9
16	0,05	1,340	1,3	0,9	0,5
18	0,2	1,340	1,9	1,7	1,1
18	0,15	1,340	1,9	1,5	1,1
18	0,1	1,340	1,9	1,5	0,9
18	0,05	1,340	1,3	1,1	0,7

Таблица 3 – Промерзание суглинков, с разной плотностью, влажностью и засоленностью

Плотность су- хого грунта, кН/м <sup>3</sup>	Суммарная влажность грунта, д.е.	Глубина промерзания грунта, м,			
		по методике [5]	незасо- ленного	слабоза- соленного	среднеза- соленного
14	0,35	1,101	1,9	1,7	1,3
14	0,30	1,101	1,9	1,7	1,1
14	0,25	1,101	1,9	1,5	1,1
14	0,20	1,101	1,7	1,5	0,9
14	0,15	1,101	1,5	1,1	0,7
14	0,1	1,101	1,3	0,9	0,5
14	0,05	1,101	0,9	0,7	0,5
16	0,25	1,101	1,9	1,5	1,1
16	0,2	1,101	1,9	1,5	1,1
16	0,15	1,101	1,7	1,1	0,9
16	0,1	1,101	1,5	1,1	0,7
16	0,05	1,101	0,9	0,7	0,5
18	0,2	1,101	1,9	1,5	1,1
18	0,15	1,101	1,7	1,3	0,9
18	0,1	1,101	1,5	1,1	0,7
18	0,05	1,101	1,1	0,7	0,5

Стоит отметить, что в случае песков, миграция влаги к фронту промерзания сможет несколько уменьшить глубину промерзания. Для учёта влажности грунта следует построить кривые изменения влажности в зависимости от времени в течение года и глубины грунта в зависимости от количества осадков в регионе.

**Выводы.** При расчёте глубины промерзания грунта необходимо учитывать его влажность и засоленность в соответствии с рекомендациями СП 25.1333.2012. Можно заметить, что при повышении засоленности грунтов и понижении их влажности, заметно снижается глубина их промерзания. Искусственно изменяя их влажность (например, изолировав грунт под зданием от попадания в них влаги) можно снижать их способность к теплопередаче, тем самым уменьшая глубину промерзания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парамонов, В.Н. Процессы промерзания и оттаивания при устройстве подземных и заглубленных сооружений / В.Н. Парамонов, И.И. Сахаров, М.В. Парамонов // Жилищное строительство. – 2012. – №9. – С.21–25.
2. Кудрявцев, С.А. Промерзание и оттаивание грунтов (практические примеры и конечноэлементные расчёты) / С.А. Кудрявцев. – СПб, 2014. – 247 с.
3. Борисов, В.С. Численное решение задачи о процессах промерзания и протаивания в многолетнемерзлых грунтах / В.С. Борисов // Вестник СВФУ им. Аммосова. – 2015. – Т.12, №2. – С.36–42.
4. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88: Минрегион России. – 2012. – 124 с.
5. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. – 2011-05-20.
6. СП 131.13330.2012. Строительная климатология : актуализированная версия СНиП 23-01-99\*: Минрегион России. – 2012. – 113 с.
7. Тимофеев, Д.В. Сравнение теплофизических характеристик грунта по СП 25.13330.2012 (РФ) и ASHRAE (США) / Д.В. Тимофеев: Интеграция, партнёрство и инновации в строительной науке и образовании. – М., 2015. – С.584–588.
8. Весёлов, В. М. Научно-прикладной справочник «Климат России» / В.М. Весёлов. – [Режим доступа:] <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii>.
9. Калиткин, Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – СПб.: БВХ-Петербург, 2014. – 592 с.
10. Самарский, А.А. Вычислительная теплопередача / А.А. Самарский. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 784 с.
11. Fritsch, F.N. Monotone piecewise cubic interpolation / F.N. Fritsch, R.E. Carlson // SIAM J. Numer. Anal. – 1980. – Vol. 17, №2. – P.238–246.
12. Гагарин, В.Г. Разработка климатической информации в форме специализированного «типового года» / В.Г. Гагарин, Е.Г. Маявина, Д.С. Иванов // Вестник ВолгГАСУ. – 2013. – №вып. 31(50), ч. 1: Города России. – С.343–349.
13. Григорьев, Б.В. Замерзание влажных грунтов в равновесных и неравновесных условиях / Григорьев Б.В. дис. ... канд. тех. наук; Тюменский Государственный Университет. – Тюмень, 2013. – 135 с.
14. Newman, G.P. Heat and mass transfer in unsaturated soils during freezing / Newman Greg P. M.Sc. thesis; University of Saskatchewan. – Canada, 1995. – 259 p.
15. ГОСТ 25100-2011. ГРУНТЫ. Классификация: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации. – 2011. – 78 с.

#### Тимофеев Даниил Викторович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),  
г. Москва  
Аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»  
E-mail: [daniil@fastmail.fm](mailto:daniil@fastmail.fm)

#### Маявина Елена Георгиевна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),  
г. Москва  
Кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»  
E-mail [emal@list.ru](mailto:emal@list.ru)

---

D. TIMOFEEV, E. MALYAVINA

## FROSTING DEEP CALCULATIONS FOR SOILS WITH VARIOUS PARAMETERS AT MOSCOW CLIMATE

The depth of soil freezing in Moscow was calculated for a number of sands, sandy loams, and loams. The calculation was performed by a numerical finite difference method (balance method). The amount of un-frozen moisture was accounted for in accordance with SP 25.1333.2012. As a climatic boundary conditions, a "typical" year was used. For comparison, the depths of soil freezing are calculated, calculated by the engineering method. It was found that the density, humidity, and salinity of soils strongly influence the depth of freezing, and this is not taken into account in the engineering method. At the freezing point of the soil, moisture freezes only in the most saturated with moisture soils. The obtained freezing depths, calculated with allowance for density, humidity and salinity of the soil, have values both smaller and larger than those obtained without taking into account the listed factors.

**Key words:** soil freezing, balance method, unfrozen moisture, climatic "typical" year, sand, sandy loam, loam, salinization of soils.

### BIBLIOGRAPHY

1. Paramonov, V.N. Protsessy promerzaniya i otaivaniya pri ustroystve podzemnykh sooruzheniy / V.N. Paramonov, I.I. Sakharov, M.V. Paramonov // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2012. – №9. – S.21–25.
2. Kudryavtsev, S.A. Promerzanie i otaivanie gruntov (prakticheskie primery i konechno-elementnye raschety) / S.A. Kudryavtsev. – SPb, 2014. – 247 s.
3. Borisov, V.S. Chislennoe reshenie zadachi o protsessakh promerzaniya i protaivaniya v mnogoletnemernykh gruntakh / V.S. Borisov // Vestnik SVFU im. Ammosova. – 2015. – T.12, №2. – S.36–42.
4. SP 25.13330.2012. Osnovaniya i fundamentiya na vechnomerzlykh gruntakh. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.04-88: Minregion Rossii. – 2012. – 124 s.
5. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83\*.
6. SP 131.13330.2012. Stroitel'naya klimatologiya : aktualizirovannaya versiya SNiP 23-01-99\*: Minregion Rossii. – 2012. – 113 s.
7. Timofeev, D.V. Sravnenie teplofizicheskikh kharakteristik grunta po SP 25.13330.2012 (RF) i ASHRAE (SShA) / D.V. Timofeev: Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noy nauke i obrazovanii. – M., 2015. – S.584–588.
8. Veselov, V. M. Nauchno-prikladnoy spravochnik «Klimat Rossii» / V.M. Veselov. – <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/197-nauchno-prikladnoj-spravochnik-klimat-rossii>.
9. Kalitkin, N.N. Chislennye metody / N.N. Kalitkin. – SPb.: BVKh-Peterburg, 2014. – 592 s.
10. Samarskiy, A.A. Vychislitel'naya teploperedacha / A.A. Samarskiy. – M.: Knizhnny dom «LIBROKOM», 2009. – 784 s.
11. Fritsch, F.N. Monotone piecewise cubic interpolation / F.N. Fritsch, R.E. Carlson // SIAM J. Numer. Anal. – 1980. – Vol. 17, №2. – P.238–246.
12. Gagarin, V.G. Razrabotka klimaticheskoy informatsii v forme spetsializirovannogo «tipovogo goda» / V.G. Gagarin, E.G. Malyavina, D.S. Ivanov // Vestnik VolgGASU. – 2013. – № 31(50), ch. 1: Goroda Rossii. – S.343–349.
13. Grigor'ev, B.V. Zamerzanie vlazhnykh gruntov v ravnovesnykh i neravnovesnykh usloviyakh / Grigor'ev B V. dis. ... kand. tekhn. nauk; Tyumenskiy Gosudarstvennyy Universitet. – Tyumen', 2013. – 135 s.
14. Newman, G.P. Heat and mass transfer in unsaturated soils during freezing / Newman Greg P. M.Sc. thesis; University of Saskatchewan. – Canada, 1995. – 259 p.
15. GOST 25100-2011. GRUNTY. Klassifikatsiya: Mezhgosudarstvennaya nauchno-tehnicheskaya komissiya po standartizatsii. – 2011. – 78 s.

#### D. Timofeev

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Moscow  
Post graduate student at Heating and Ventilation Department  
E-mail: [daniil@fastmail.fm](mailto:daniil@fastmail.fm)

#### E. Malyavina

Moscow State University of Civil Engineerin (MGSU), Moscow  
Candidate of Technical Sciences (PhD), Professor of Heating and Ventilation Department  
E-mail [email@list.ru](mailto:email@list.ru)

УДК 624.012

ФЕДОРОВ В.С., КРАСОВИЦКИЙ М.Ю., ЛЕВИТСКИЙ В.Е.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЁТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЁННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН ПО СТАРЫМ И НОВЫМ НОРМАМ

*Дан краткий сравнительный анализ основных расчётных положений СП 63.13330.2012, показывающий, что выполняемые в соответствии с ним расчёты дают больший запас прочности и трещиностойкости по сравнению с ранее действовавшим СНиП 2.03.01-84\*. Однако необоснованное отсутствие в методике нового СП ряда понижающих коэффициентов в расчёте по образованию трещин предварительно напряжённых железобетонных элементов приводит к завышению момента трещинообразования в эксплуатационной стадии по сравнению с расчётом по прежним нормам. Представляется, что в новом СП следовало бы учесть в расчёте по образованию трещин условия, вызывающие необходимость использования коэффициентов  $\lambda$  и  $\gamma_{sp}$ , с тем, чтобы соответствовать общей тенденции СП: в запас прочности и в запас трещиностойкости.*

**Ключевые слова:** момент трещинообразования, упругопластический момент сопротивления, отклонения предварительного напряжения, начальные трещины в сжатой зоне

Действующий СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» разработан авторским коллективом НИИЖБ им. А.А. Гвоздева при участии РААСН и ОАО «ЦНИИПромзданий» и является актуализированной редакцией СНиП 52-01-2003. Он входит в перечень обязательной нормативно-технической литературы, применение которой гарантирует выполнение требований, установленных Федеральными законами №184-ФЗ «О техническом регулировании» и №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

По сравнению с ранее действовавшим СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции» новый Свод правил отличается более осторожным подходом к расчёту и проектированию таких конструкций, причём как с обычным армированием, так и предварительно напряжённых. Так, например, для арматуры произошло повышение коэффициентов надёжности по материалу, что привело к уменьшению значений расчётных сопротивлений растяжению  $R_s$ . Для бетона при кратковременном действии нагрузки коэффициент условий работы  $\gamma_{b1}$  принят равным 1,0, а ранее его значение равнялось 1,1, что также приводит к снижению расчётных сопротивлений бетона сжатию  $R_b$  и растяжению  $R_{bt}$  в случае действия такой нагрузки. Кроме этого, для ряда классов бетона по прочности на сжатие (B15-B30) понижены значения нормативных сопротивлений бетона растяжению  $R_{bt,n}$ , что, безусловно, приводит к снижению в расчётах момента трещинообразования  $M_{crc}$ . Значение граничной относительной высоты сжатой зоны бетона  $\xi_R$  теперь зависит только от класса арматуры и не зависит ни от класса бетона, фактическая предельная сжимаемость которого уменьшается с ростом прочности, ни от характера действия нагрузки, учитываемого коэффициентом условий работы  $\gamma_{b1}$ . В результате значения  $\xi_R$  для бетонов низкой и средней прочности стали существенно меньше, чем были ранее. Как отмечается в статьях В.В. Габрусенко [1-7], опубликованных в журнале «Проектирование и строительство в Сибири» в 2006-2008 г.г., в ряде случаев такой подход даёт дополнительный запас прочности по сравнению с результатами расчёта по старым нормам.

Аналогичный запас прочности и параллельно увеличение расхода материалов даёт расчёт прочности наклонных сечений на действие поперечных сил, когда на 25%, как минимум, расчётная несущая способность таких сечений оказывается ниже по сравнению с несущей способностью, определяемой по старым нормам. Это требует увеличения диаметра поперечной арматуры, что с уменьшением максимально допустимого её шага в сварных каркасах с  $20 \cdot d_s$  до  $15 \cdot d_s$  и рядом других положений действующего СП приводит, как уже отмеча-

лось, к повышению расхода материалов. В этом же направлении можно рассматривать и ограничение расчётного сопротивления растяжению поперечной арматуры  $R_{sw}$  величиной 300 МПа.

Можно долго перечислять отличия новых норм от старых, однако это не входит в задачу настоящей статьи. Вышеизложенный краткий сравнительный анализ приведён лишь для того, чтобы подчеркнуть, что расчёт и конструирование по действующему СП приводит к повышению надёжности проектируемых бетонных и железобетонных конструкций. Причём это относится не только к расчётам прочности по нормальным и наклонным сечениям, но и к расчётам прочности на местное действие нагрузки (местное сжатие, продавливание), и к расчётам по образованию трещин для конструкций с обычным армированием.

В последнем случае для центрально растянутых элементов продольное растягивающее усилие, воспринимаемое элементом при образовании трещин  $N_{crc}$ , действующий СП предлагает определять по формуле  $N_{crc} = A_{red} \cdot R_{bt,ser}$ , где  $A_{red} = A + \alpha_s \cdot (A_s + A'_s)$ . В СНиП 2.03.01-84\* величину  $N_{crc}$  вычисляем как  $N_{crc} = R_{bt,ser} \cdot [A + 2 \cdot \alpha_s \cdot (A_s + A'_s)]$ . Таким образом, в СП в формуле исключён коэффициент «2», что направлено в запас трещиностойкости.

В запас трещиностойкости в СП также принятые пониженные значения коэффициента  $\gamma$ , с помощью которого нормы допускают определять упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона  $W_{pl} = \gamma \cdot W_{red}$ , где  $W_{red}$  – упругий момент сопротивления приведённого сечения по его растянутой зоне. Для прямоугольных и тавровых сечений с полкой в сжатой зоне такое понижение составляет 25%. Для тавровых сечений с полкой в растянутой зоне и двутавровых сечений (симметричных и несимметричных) в зависимости от соотношения размеров полок и стенки указанное понижение также может достигать 25%.

Как видно из приведённого материала, такова общая тенденция построения нового СП: в запас прочности и в запас трещиностойкости.

Однако, исключением из этой тенденции является расчёт по образованию трещин предварительно напряжённых железобетонных конструкций. В этом случае, как известно, изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента при образовании трещин, определяют по формуле:  $M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl} \pm P \cdot (e_{0p} + r)$ , где знак «+» принимается при проверке трещинообразования в нижних волокнах сечения в эксплуатационной стадии, а знак «-» – при проверке трещинообразования верхних волокон сечения в стадии предварительного обжатия. В первом случае  $P = P_{(2)}$  – усилие обжатия с учётом полных потерь предварительного напряжения арматуры, а во втором случае  $P = P_{(1)}$  – усилие обжатия с учётом только первых потерь. В п. 9.2.6 нового СП зафиксировано, что при расчёте прочности возможные отклонения предварительного напряжения учитывают путём умножения усилий обжатия на коэффициент  $\gamma_{sp}$ , равный 0,9 при благоприятном влиянии предварительного напряжения (фактически при расчёте по образованию трещин в стадии эксплуатации и использовании усилия обжатия  $P_{(2)}$ ), или равный 1,1 при его неблагоприятном влиянии (фактически при расчёте по образованию трещин в стадии предварительного обжатия и использовании усилия обжатия  $P_{(1)}$ ). О применении коэффициента  $\gamma_{sp}$  в других расчётах в СП не упоминается.

В прежних нормах проектирования также использовался аналогичный коэффициент  $\gamma_{sp}$ , но не только при расчёте прочности, то есть фактически при вычислении значения  $\xi_R$ , но и при расчёте по образованию трещин. Только при вычислении потерь предварительного напряжения арматуры, а также при расчёте по раскрытию трещин и по деформациям п. 1.27 СНиП 2.03.01-84\* допускал принимать  $\gamma_{sp} = 1,0$ . Таким образом, новый СП, не учитывая коэффициент  $\gamma_{sp}$  при образовании трещин (то есть фактически принимая его равным единице), повышает второе слагаемое в формуле для момента трещинообразования на 10% как в стадии эксплуатации, так и в стадии предварительного обжатия. Если же учесть ещё и тот факт, что новый СП предлагает вычислять радиус ядра сечения  $r$  для внецентренно сжатых, внецентренно растянутых и изгибаемых предварительно напряжённых элементов как  $r = W_{red}/A_{red}$ , то есть без понижающего коэффициента  $0,7 \leq \varphi \leq 1$ , как это предусматривал

СНиП 2.03.01-84\* (определение коэффициента  $\varphi$  по старым нормам требовало нескольких вычислительных операций), то повышение второго слагаемого в формуле для момента трещинообразования оказывается более 10%.

Кроме этого, п. 4.6\* СНиП 2.03.01-84\* устанавливал, что при расчёте по образованию трещин элементов на участках с начальными трещинами в сжатой от эксплуатационных нагрузок зоне, возникающих в стадии предварительного обжатия, транспортирования и возведения, значение  $M_{crc}$  для зоны, растянутой от действия внешней нагрузки, следует снижать на  $\Delta M_{crc} = \lambda \cdot M_{crc}$ , то есть момент трещинообразования вычислять по формуле  $M_{crc} \cdot (1 - \lambda)$ . Новый СП такой проверки и, соответственно, снижения величины  $M_{crc}$  не предусматривает. В результате расчёт момента трещинообразования в эксплуатационной стадии по новому СП может привести к его повышению по сравнению с ранее действовавшим СНиП 2.03.01-84\*, так как при  $\lambda > 0,15$  и  $\gamma_{sp} = 0,9$  снижение коэффициента  $\gamma$  на 25% не «перекроет» прежнего влияния на расчёт коэффициентов  $\lambda$  и  $\gamma_{sp}$ . Так, в «Пособии по проектированию предварительно напряжённых железобетонных конструкций из тяжёлых и лёгких бетонов (к СНиП 2.03.01-84\*)» в примере №31 приведён расчёт рёбристой предварительно напряжённой плиты перекрытия типа 2Т из тяжёлого бетона класса В25 шириной 95 см, высотой 35 см, армированной в нижней растянутой зоне напрягаемой арматурой в виде 2Ø25A-IV (в рёбрах), а также каркасами с нижней (2Ø10A-III) и верхней (2Ø8A-III) ненапрягаемой арматурой. Для такой плиты коэффициент  $\lambda$  составил 0,276, то есть снижение момента трещинообразования достигло 27,6%, а с учётом коэффициента  $\gamma_{sp} = 0,9$  ещё больше, то есть более 25%.

Представляется, что в новом СП следовало бы учесть в расчёте по образованию трещин условия, вызывающие необходимость использования коэффициентов  $\lambda$  и  $\gamma_{sp}$ , с тем, чтобы соответствовать общей тенденции СП: в запас прочности и в запас трещиностойкости. Следует особо подчеркнуть, что после выхода СНиП II-21-75, предшествовавших СНиП 2.03.01-84, А.А. Гвоздевым с коллективом авторов в 1978 г. была издана книга «Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций», где подробно объяснялись отличия в расчётах и конструировании по ранее действовавшим СНиП II-В.1-62 от введённых в действие СНиП II-21-75. Существующий СП 63.13330.2012 введён в действие с 01 января 2013 г., то есть применяется в проектировании уже более четырёх лет, но, несмотря на многочисленные обсуждения научно-технической общественностью его расчётных положений [7-10], до настоящего времени не издано подобно книге А.А. Гвоздева документа, объясняющего принятые в СП и иногда неоднозначные с нашей точки зрения решения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт нормальных сечений / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №4. – 2006. – С. 20-23.
2. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт наклонных сечений / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №6. – 2006. – С. 10-14.
3. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт прочности при местном действии нагрузки: расчёт на местное сжатие / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №2. – 2007. – С. 15-17.
4. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт прочности при местном действии нагрузки: расчёт на продавливание / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №5. – 2007. – С. 24-26.
5. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт трещиностойкости: расчёт по образованию трещин / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №6. – 2007. – С. 39-40.
6. Габрусенко, В.В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам. Расчёт трещиностойкости: расчёт по раскрытию трещин / В.В. Габрусенко // Проектирование и строительство в Сибири. – №2. – 2008. – С. 19-22.
7. Кодыш, Э.Н. Совершенствование нормативной базы проектирования железобетонных конструкций / Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – №6. – С. 25-28.

8. Гранёв, В.В. Разработка и актуализация нормативных документов по проектированию и строительству промышленных и гражданских зданий / В.В. Гранёв, Э.Н. Кодыш // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 7. – С. 9-12.
9. Бондаренко, В.М. К вопросу о потерях предварительного напряжения железобетонных конструкций / В.М. Бондаренко, Р.Е. Мигаль // Строительная механика и расчет сооружений. – 2014. – № 4 (255). – С. 2-5.
10. Травуш, В.И. Безопасность зданий и сооружений: грядут перемены / В.И. Травуш, Ю.С. Волков // Стандарты и качество. – 2016. – № 1. – С. 62-64.

**Федоров Виктор Сергеевич**

Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II  
Академик РААСН, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения»  
E-mail: [fvs\\_skzs@mail.ru](mailto:fvs_skzs@mail.ru)

**Красовицкий Михаил Юрьевич**

Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»  
E-mail: [krasovmu@rambler.ru](mailto:krasovmu@rambler.ru)

**Левитский Валерий Евгеньевич**

Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»  
E-mail: [dobriy\\_vecher@mail.ru](mailto:dobriy_vecher@mail.ru)

V. FEDOROV, M. KRASOVICKIY, V. LEVITSKIY

### COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATION OF PRELIMINATED STRESSED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES FOR EARNING CRACKS ON OLD AND NEW NORMS

*A brief comparative analysis of the main design provisions of SP 63.13330.2012 is given, showing that the calculations performed in accordance with it give a greater margin of strength and crack resistance in comparison with the previous SNiP 2.03.01-84\*. However, the unjustified absence of a number of lowering coefficients in the calculation of the formation of cracks in prestressed reinforced concrete elements in the new SP technique leads to an overestimation of the cracking moment compared with the calculation according to previous standards. It seems that in the new joint venture it would be necessary to take into account in the calculation of the formation of cracks conditions that require the use of the coefficients  $\lambda$  and  $\gamma_{sp}$ , so as to correspond to the overall trend of the joint venture: a safety margin and a crack resistance reserve.*

**Key words:** cracking moment, elastoplastic resistance moment, deviation of prestress, initial cracks in the compressed zone

### BIBLIOGRAPHY

1. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normam. Raschjot normal'nyh sechenij / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №4. – 2006. – S. 20-23.
2. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normam. Raschjot naklonnyh sechenij / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №6. – 2006. – S. 10-14.
3. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normam. Raschjot prochnosti pri mestnom dejstvii nagruzki: raschjot na mestnoe szhatie / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №2. – 2007. – S. 15-17.
4. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normam. Raschjot prochnosti pri mestnom dejstvii nagruzki: raschjot na prodavlivanie / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №5. – 2007. – S. 24-26.

5. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normam. Raschjot treshhinostojkosti: raschjot po obrazovaniju treshhin / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №6. – 2007. – S. 39-40.
6. Gabrusenko V.V. Nekotorye osobennosti proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normam. Raschjot treshhinostojkosti: raschjot po raskrytiju treshhin / V.V. Gabrusenko // Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri. – №2. – 2008. – S. 19-22.
7. Kodysh Je.N. Sovrshenstvovanie normativnoj bazy proektirovaniya zhelezobetonnyh konstrukcij / Je.N. Kodysh, N.N.Trekin // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2016. – №6. – S. 25-28.
8. Granjov V.V. Razrabotka i aktualizacija normativnyh dokumentov po proektirovaniyu i stroitel'stu promyshlennyh i grazhdanskih zdanij / V.V. Granjov, Je.N. Kodysh // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014. – № 7. – S. 9-12.
9. Bondarenko V.M. K voprosu o poterjakh predvaritel'nogo naprjazhenija zhelezobetonnyh konstrukcij / V.M. Bondarenko, R.E. Migal' // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2014. – № 4 (255). – S. 2-5.
10. Travush V.I. Bezopasnost' zdanij i sooruzhenij: grjadut peremeny / V.I. Travush, Ju.S. Volkov // Standarty i kachestvo. – 2016. – № 1. – S. 62-64.

### V. Fedorov

Moscow State University of Communications of the Emperor Nicholas II  
Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department «Building structures, buildings and structures»  
E-mail: [fvs\\_skzs@mail.ru](mailto:fvs_skzs@mail.ru)

### M. Krasovickiy

Moscow State University of Communications of the Emperor Nicholas II  
Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor of the Department «Building Constructions, Buildings and Structures»  
E-mail: [krasovmu@rambler.ru](mailto:krasovmu@rambler.ru)

### V. Levitskiy

Moscow State University of Communications of the Emperor Nicholas II  
Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor of the Department «Building Constructions, Buildings and Structures»  
E-mail: [dobriy\\_vecher@mail.ru](mailto:dobriy_vecher@mail.ru)

УДК 624.012.45

ДЕМЬЯНОВ А.И., КОЛЧУНОВ В. И., САЛЬНИКОВ А.С., МИХАЙЛОВ М.М.

## **РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ КРУЧЕНИИ С ИЗГИБОМ В МОМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТРЕЩИНЫ**

*В статье предлагается ввести статико-динамические модели деформирования второго уровня при сложном напряженно-деформируемом состоянии кручения с изгибом в момент образования пространственной трещины с учетом импульсного воздействия в виде представительных объемов бетона, вырезанных из железобетонной конструкции в окрестностях, прилегающих к пространственной трещине бетонных призм, включающих арматурный стержень и подверженных центральному растяжению со сдвигом; при этом, в сечениях, сделанных для вырезания предлагаемых моделей второго уровня влияние внутренних напряжений учитывается не непосредственно, а интегрально, через специально-построенную расчетную модель первого уровня моделирующую пространственное сечение с возникающими в нем внутренними усилиями, то есть, это влияние проявляется в представительном объеме, через такие параметры, как расстояние между пространственными трещинами, напряжение в рабочей арматуре исследуемой зоны в стадии II, а также в определении главных (или нормальных и сдвигающих, в зависимости от сделанного сечения) деформаций (напряжений) бетона и деформаций (напряжений) арматурного стержня, попадающих в представительный объем, прилегающий к моделируемой поверхности еще непроявившейся пространственной трещины в стадии Ia. Построены основные рабочие гипотезы. Получены зависимости для определения напряжений в растянутой арматуре, которые возникли бы в этой системе, если бы переход n-системы в систему (n-1) осуществлялся в результате мгновенного разрушения части сечения k.*

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, кручение с изгибом, расчетные модели, деформирование, импульсное воздействие.

**Постановка проблемы.** В процессе совершенствования теории железобетона все больше внимания уделяется переходному состоянию от сопротивления железобетонных конструкций со сплошной растянутой зоной к сопротивлению после нарушения сплошности и появления целого ряда трещин [1–6].

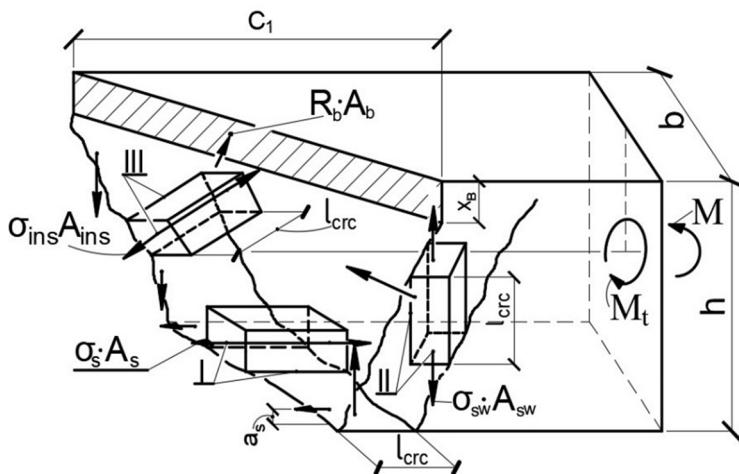
**Анализ достижений и публикаций.** В момент разрушения бетонной матрицы при растяжении (образования трещин) в железобетонных конструкциях имеет место импульсное воздействие, которое в ряде случаев необходимо учитывать в расчете [7, 8].

При сложном напряженно-деформируемом состоянии кручения с изгибом в пространственном сечении [9], в окрестностях, прилегающих к продольной или поперечной (в виде хомутов или отгибов) арматуре имеют место местные зоны с напряженно-деформируемым состоянием приближающимся к центральному растяжению со сдвигом.

**Исследовательская часть.** Весьма логично при формировании расчетных моделей статико-динамического деформирования железобетонной конструкции сопротивляющейся кручению с изгибом в момент образования пространственной трещины [9], рассматривать представительные объемы бетона, включающие арматурный стержень рабочей продольной арматуры или поперечной рабочей арматуры (хомута или отгиба), соответственно.

При этом в сечениях, сделанных для вырезания предлагаемых моделей второго уровня в виде представительных объемов (рис. 1), влияние внутренних напряжений учитывается не непосредственно, а интегрально, через специально-построенную расчетную модель пространственного сечения первого уровня, то есть, это влияние проявляется в представительном объеме – модели второго уровня, через такие параметры, как: расстояние между пространственными

трещинами ( $l_{crc}$ ), напряжение в рабочей арматуре исследуемой зоны  $\sigma_{s,n-1}^c$  и  $\sigma_{s,n-1}^\partial$  в стадии II напряженно-деформированного состояния железобетона, а также в определении главных (или нормальных и сдвигающих, в зависимости от сделанного сечения) деформаций удлинения бетона (а также деформаций, попадающего в представительный объем арматурного стержня) и главных (или нормальных и сдвигающих, в зависимости от сделанного сечения) растягивающих напряжений бетона (а также напряжений, попадающего в представительный объем арматурного стержня) в стадии Ia напряжено-деформированного состояния железобетона.



*Рисунок 1 . Вырезание модели второго уровня в виде представительных объемов (призм) с напряженно-деформируемым состоянием приближающимся к центральному растяжению со сдвигом в окрестности пространственной трещины:*

*I – модель второго уровня в виде представительного объема бетона, включающая арматурный стержень рабочей продольной арматуры;*

*II – то же, включающий арматурный стержень-хомут поперечной рабочей арматуры;*

*III – то же, включающий арматурный стержень-отгиб поперечной рабочей арматуры*

Для оценки эффекта импульсного воздействия в виде мгновенного выключения из работы отдельного элемента (сечения или его части, узла) системы будем исходить из следующих основных гипотез:

- 1) под мгновенным разрушением элемента (или его части) из двухкомпонентного нелинейно (линейно)-упругого материала будем понимать разрушение, продолжительность реализации которого исчисляется десятыми и сотыми долями секунды;

- 2) при мгновенном переходе заданной  $n$ -ой стержневой конструктивной системы (ее расчетной модели) из двухкомпонентного материала к  $(n-1)$  системе (расчетной модели), полная удельная энергия системы не изменяется;

- 3) теоретическая диаграмма состояния арматуры до наступления текучести принимается в виде линейной диаграммы, рис. 2;

- 4) при мгновенном выключении из работы растянутой зоны отдельного сечения (образования в ней трещины) динамический эффект проявляется согласно принципу Сен-Венана лишь в местной зоне, прилегающей к сечению с трещиной; при этом наиболее существенное проявление динамического эффекта имеет место в арматуре, в месте пересечения ее трещиной, как в момент образования трещины, так и в случае разрушения от разрыва арматуры;

- 5) при сложном напряженно-деформируемом состоянии кручении с изгибом предлагаются ввести статико-динамические модели деформирования второго уровня в виде представительных объемов бетона, вырезанных из железобетонной конструкции в окрестностях, прилегающих к пространственной трещине (в той, или иной местной зоне I, II или III, – рис. 1) бетонных призм, включающих арматурный стержень и подверженных центральному растяжению со сдвигом;

- 6) при сложном напряженно-деформируемом состоянии кручении с изгибом в сечениях, сделанных для вырезания предлагаемых моделей второго уровня в виде представительного

объема, влияние внутренних напряжений учитывается не непосредственно, а интегрально, через специально-построенную расчетную модель первого уровня моделирующую пространственное сечение с возникающими в нем внутренними усилиями, то есть, это влияние проявляется в представительном объеме, через такие параметры, как: расстояние между пространственными трещинами ( $l_{crc}$ ), напряжение в рабочей арматуре исследуемой зоны  $\sigma_{s,n-1}^c$  и  $\sigma_{s,n-1}^\delta$  в стадии II, а также в определении главных (или нормальных и сдвигающих, в зависимости от сделанного сечения) деформаций (напряжений) бетона и деформаций (напряжений) попадающего в представительный объем арматурного стержня, в стадии Ia.

Напряжения в арматуре  $\sigma_{s,n-1}^\delta$  и соответствующие им относительные деформации в сечении с трещиной неразрушенной арматурой ( $n-1$ )-раз внутренне статически неопределенной системы в течение первого полупериода её колебаний; безусловно он будет превышать аналогичный параметр, который имел бы место в этой системе, если бы переход  $n$ -системы в систему  $(n-1)$  осуществлялся не в результате мгновенного разрушения сечения с трещиной, а путем его медленного принудительного разгружения от некоторого значения предельного напряжения, воспринимаемого арматурой, до нуля. При неизменной внешней нагрузке на систему ( $\eta = \eta_k = const$ ) и медленном принудительном переводе системы  $n$  в систему  $(n-1)$  напряжения в арматуре  $\sigma_{s,n-1}^c$  и соответствующие им относительные деформации в сечении с трещиной железобетонной конструкции равнялись бы соответствующим значениям напряжений и деформаций в исходной нелинейно-упругой системе с заранее удаленной частью сечения (трещиной) при медленном статическом возрастании параметра  $\eta$  от нуля до  $\eta_k$ .

Перед образованием трещины в сечениях железобетонной конструкции имеет место стадия напряженно-деформированного состояния – Ia, рис. 3, a. Растягивающие напряжения в бетоне –  $\sigma_{bt}$  приближаются к пределу прочности при растяжении –  $R_{bt}$ . В растянутой зоне сечения деформации удлинения бетона достигают предельных значений  $\varepsilon_{bt,u}$ .

Продольная сила, вызывающая образование трещин определяется из уравнения равновесия проекций всех сил на ось  $X$  равных нулю  $\sum X = 0$ :

$$-N_{bt,n}^c - N_{s,n}^c - \omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up} \cdot l \cdot (b + h) + \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d} \cdot l \cdot (b + 0,5h) + N_n^c = 0; \quad (1)$$

$$-R_{bt} \cdot b \cdot h_n - \sigma_{s,n}^c \cdot A_s - (\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h) + N_n^c = 0. \quad (2)$$

Здесь,  $l, h, b$  – длина, высота и ширина статико-динамической модели второго уровня в виде вырезаемого представительного объема, состоящего из бетонной призмы, испытывающей центральное растяжение со сдвигом, с арматурным стержнем, расположенным вдоль ее геометрической оси;  $\sigma_{s,n}^c = 2\alpha \cdot R_{bt}$ , а  $\sigma_{s,n}^c$  – напряжения в растянутой арматуре перед образованием трещин в стадии Ia;  $\sigma_{bt,n}^c$  – напряжения в растянутом бетоне перед образованием трещин;  $\sigma_{bt,n}^c = R_{bt}; \omega_{\tau,up} = \omega_{\tau,d} = \frac{2}{3}; \omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up}$  – касательные напряжения на верхней и боковых по-

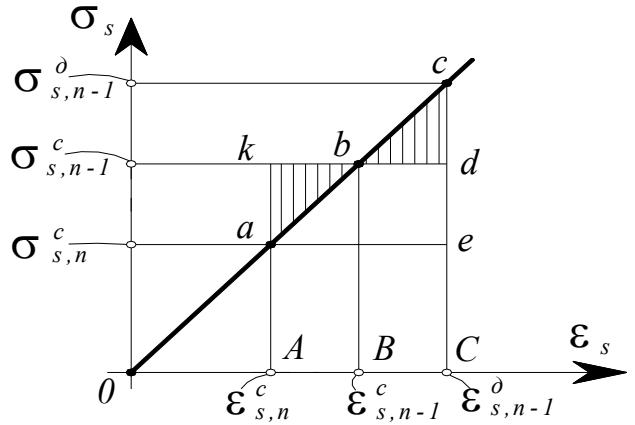


Рисунок 2 – Теоретическая диаграмма деформирования арматуры, используемая для определения динамических напряжений арматуры в сечении с трещиной ( $n-1$ ) раз внутренне статически неопределенной системы из двухкомпонентного материала

верхностях (от верхней грани до геометрической оси, вырезанного представительного объема) в стадии Ia;  $\omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d}$  – касательные напряжения на нижней и боковых поверхностях (от нижней грани до геометрической оси, вырезанного представительного объема) в стадии Ia; касательные напряжения  $\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up}$ ,  $\omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d}$  зависят от вида возникающего здесь плоского напряженно-деформируемого состояния «растяжение-растяжение», «сжатие-растяжение» и «сжатие-сжатие» могут изменяться в пределах (согласно анализу накопленных экспериментальных данных) от  $2,2 R_{bt}$  до  $0,5 R_b$ .

С учетом выше принятых обозначений будем иметь:

$$-R_{bt} \cdot b \cdot h - 2\alpha \cdot R_{bt} A_s - (\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h) + N_n^c = 0. \quad (3)$$

Тогда,

$$N_n^c = R_{bt} \cdot b \cdot h + 2\alpha \cdot R_{bt} A_s + (\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h). \quad (4)$$

После образования трещин в сечениях железобетонной конструкции имеет место стадия напряженно-деформированного состояния II. В железобетонном стержне при центральном растяжении со сдвигом трещина распространяется на всю высоту сечения и все растягивающие усилия в сечении с трещиной воспринимаются только растянутой арматурой, рис. 3, б. На этом рисунке  $\pm \sigma_{b,sid}$  – нормальные напряжения на боковой поверхности вырезанного представительного объема бетона включающий арматурный стержень. На участке между трещинами сцепление арматуры с бетоном не нарушено и бетон продолжает работать на растяжение, несколько разгружая арматуру.

Продольная сила, вызывающая образование трещин в стадии II определяется из уравнения равновесия, проекций всех сил на ось X, равных нулю ( $\sum X = 0$ ), в сечении с трещиной вырезанного представительного объема бетона с арматурным стержнем, испытывающим центральное растяжение со сдвигом:

$$-\sigma_{s,n-1}^c \cdot A_s - (\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{2,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{2,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h) + N_{n-1}^c = 0. \quad (5)$$

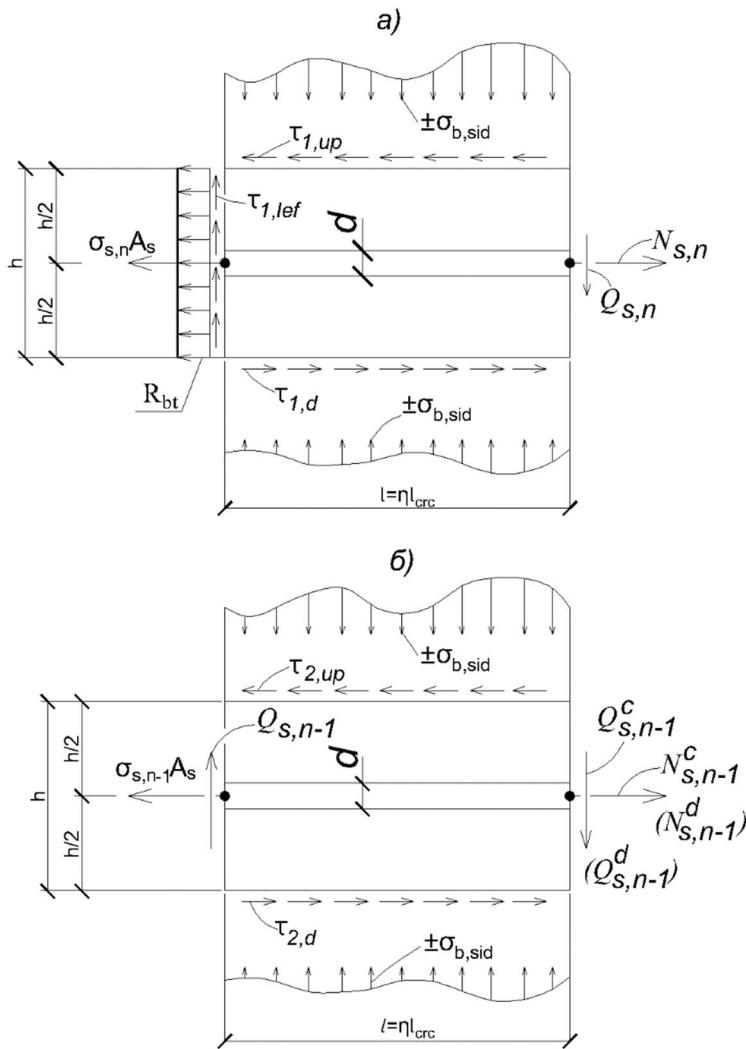
Здесь,  $\sigma_{s,n-1}^c$  – напряжения в растянутой арматуре после образования трещин в стадии II;  $\omega_{\tau,up} = \omega_{\tau,d} = \frac{2}{3}$ ;  $\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{2,up}$  – касательные напряжения на верхней и боковых поверхностях (от верхней грани до геометрической оси, вырезанного представительного объема) в стадии II;  $\omega_{\tau,d} \cdot \tau_{2,d}$  – касательные напряжения на нижней и боковых поверхностях (от нижней грани до геометрической оси, вырезанного представительного объема) в стадии II; касательные напряжения  $\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{2,up}$ ,  $\omega_{\tau,d} \cdot \tau_{2,d}$  зависят от вида возникающего здесь плоского напряженно-деформируемого состояния «растяжение-растяжение», «сжатие-растяжение» и «сжатие-сжатие» могут изменяться в пределах (согласно анализу накопленных экспериментальных данных) от  $2,2 R_{bt}$  до  $0,5 R_b$ ; при этом  $\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{2,up}$ , как правило, не равняется  $\omega_{\tau,d} \cdot \tau_{2,d}$ .

Из уравнения (5), получим:

$$N_{n-1}^c = \sigma_{s,n-1}^c \cdot A_s + (\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{2,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{2,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h). \quad (6)$$

Учитывая, что после образования трещин внешнее продольное усилие  $N_{n-1}^c$  не изменяется, а следовательно равняется  $N_n^c$  (если бы переход n-системы в систему (n-1) осуществлялся не в результате мгновенного разрушения сечения с трещиной, а путем его медленного принудительного разгружения), то приравнивая зависимости (4) и (6), получим:

$$\begin{aligned} N_n^c &= N_{n-1}^c = N_{crc}^c = R_{bt} \cdot b \cdot h + 2\alpha \cdot R_{bt} A_s + (\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h) = \\ &= \sigma_{s,n-1}^c \cdot A_s + (\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{2,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{2,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h). \end{aligned} \quad (7)$$



**Рисунок 3 – Расчетные модели второго уровня статико-динамического деформирования железобетонной конструкции при кручении с изгибом в момент образования пространственной трещины:**  
**а – схема усилий в бетоне (арматуре) в сечениях, вырезанных различных (I, II или III) представительных объемов, прилегающих к моделируемой поверхности еще непроявившейся пространственной трещины в стадии Ia;**  
**б – схема усилий в арматуре в сечениях вырезанных различных (I, II или III) представительных объемов, прилегающих к пространственной трещине, в стадии II**

Из уравнения (7) отыскивается неизвестное напряжение  $\sigma_{s,n-1}^c$  в стадии II в растянутой арматуре в сечении с трещиной (при многоуровневом процессе образования трещин, – в сечении с трещиной, появляющейся на последующем уровне):

$$\sigma_{s,n-1}^c = \frac{R_{bt} \cdot b \cdot h + 2\alpha \cdot R_{bt} A_s + (\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h)}{A_s} - \frac{(\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{2,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{2,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h)}{A_s} \leq R_s. \quad (8)$$

Теперь, принимая во внимание исследования [7, 8], применительно к рабочей арматуре с учетом рис. 1, будем иметь:

$$\sigma_{s,n-1}^\delta = 2\sigma_{s,n-1}^c - \sigma_{s,n}^c. \quad (9)$$

Подставляя в формулу (9) выражения для определения  $\sigma_{s,n-1}^c$ , полученные из уравнения (8), а также учитывая, что  $\sigma_{s,n}^c = 2\alpha \cdot R_{bt}$ , отыскиваем напряжения в арматуре  $\sigma_{s,n-1}^\partial$  в сечении с трещиной ( $n-1$ )-раз внутренне статически неопределенной системы в течение первого полупериода колебаний.

$$\begin{aligned}\sigma_{s,n-1}^\partial &= 2\left(\frac{R_{bt} \cdot b \cdot h + 2\alpha \cdot R_{bt} A_s + (\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d}) \cdot l \cdot (b + 0,5h)}{A_s} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{(\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{2,up} - \omega_{\tau,d} \cdot \tau_{2,d}) \cdot l \cdot (b + h)}{A_s}\right) - 2\alpha \cdot R_{bt},\end{aligned}\quad (10)$$

где  $\sigma_{s,n-1}^\partial$  – напряжения в растянутой арматуре в сечении с трещиной, которые возникли бы в этой системе, если бы переход  $n$ -системы в систему ( $n-1$ ) осуществлялся в результате мгновенного разрушения части сечения, включающей только растянутый бетон.

**Обоснование полученных результатов.** В качестве примера, рассмотрим сечение с пространственной трещиной железобетонной опытной конструкции (опыты авторов) прямоугольного сечения третьей серии КИП–III–1,2, подверженной кручению с изгибом в экспериментальных исследованиях авторов [9, 12].

**Исходные данные** для расчета.

Класс бетона образца: B20, тяжелый; рабочая арматура хомутов (представительный объем, на рис. 1) Ø6А240С,  $\omega_{\tau,up} = \omega_{\tau,d} = \frac{2}{3}$ ,  $\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{1,up}$ ,  $\omega_{\tau,d} \cdot \tau_{1,d}$  и  $\omega_{\tau,up} \cdot \tau_{2,up}$ ,  $\omega_{\tau,d} \cdot \tau_{2,d}$  (анализ собственных опытных данных и экспериментов других авторов показывает, что значения этих параметров находятся в диапазоне  $0,5 R_{bt}$  до  $0,5 R_b$ ).

Геометрические характеристики представительного объема II (см. рис.1):  $l = 10\text{cm}$ ,  $h = 5\text{cm}$ ,  $b = 5\text{cm}$ .

Физико-механические характеристики бетона:

$$\begin{aligned}R_b &= \frac{R_{bn}}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = \frac{1,5 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}}{0,7786} = 1,93 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}, \\ R_{bt} &= \frac{R_{bt,n}}{1 - 1,64 \cdot 0,135} = \frac{0,14 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}}{0,7786} = 0,18 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}, \quad v_{b,t} = 0,85 \div 1, \quad v_{b,c} = 0,45, \\ E_b &= 2700 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}, \quad G = 0,3E_b = 900 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}, \quad E(\lambda) = 0,85E_b = 2295 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}.\end{aligned}$$

Рабочая арматура хомутов (представительный объем II, на рис. 1) Ø6А240С,

$$\begin{aligned}R_S &= \frac{R_{Sn}}{\gamma_S} = \frac{24 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}}{1} = 24 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}, \quad E_S = 2 \cdot 10^4 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}, \quad A_S = \frac{\pi \cdot (0,6)^2}{4} = 0,283 \text{см}^2, \\ \alpha_S &= \frac{E_S}{v_{b,t} E_{b,1}} = \frac{20000 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}}{0,85 \cdot 2700 \frac{\kappa H}{\text{см}^2}} = 8,71; \quad A_b = b \cdot h = 5 \cdot 5 = 25 \text{см}^2.\end{aligned}$$

2. Напряжения в бетоне в стадии Ia принимаются равными  $R_{bt}$ , а в растянутой арматуре (хомуте) определяются по формуле  $\sigma_{s,n}^c = 2\alpha \cdot R_{bt}$ :

$$\sigma_{bt,n}^c = R_{bt} = 2700 \frac{\kappa H}{cm^2}; \quad \sigma_{s,n}^c = 2\alpha \cdot R_{bt} = 2 \cdot 8,71 \cdot 0,18 \frac{\kappa H}{cm^2} = 3,1356 \frac{\kappa H}{cm^2}.$$

3. Отыскивается неизвестное напряжение в растянутой арматуре в сечении с трещиной  $\sigma_{s,n-1}^c$  по формуле (8) (учитывая, что после образования трещин в стадии II внешнее (по отношению к вырезанному представительному объему) осевое усилие в поперечной арматуре (хомуту)  $N_{n-1}^c$  не изменяется, а следовательно равняется  $N_n^c$  в стадии Ia (если бы переход  $n$ -системы в систему  $(n-1)$  осуществлялся не в результате мгновенного разрушения сечения с трещиной, а путем его медленного принудительного разгружения).

При этом ниже рассмотрены два крайних возможных случая.

**Случай I.** Представительный объем находится в условиях напряженно-деформированного состояния «растяжение – растяжение».

$$\sigma_{s,n-1}^c = \frac{0,18 \frac{\kappa H}{cm^2} \cdot 5 \cdot 5 + 2 \cdot 8,71 \cdot 0,18 \cdot 0,283 + \left( \frac{2}{3} \cdot \frac{2,2 \cdot 0,18 \frac{\kappa H}{cm^2}}{1,5} - \frac{2}{3} \cdot \frac{0,5 \cdot 0,18 \frac{\kappa H}{cm^2}}{1,5} \right) \cdot 10 \cdot (5 + 2,5)}{0,283} - \frac{\left( \frac{2}{3} \cdot 2,2 \cdot 0,18 \frac{\kappa H}{cm^2} - \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 0,18 \frac{\kappa H}{cm^2} \right) \cdot 10 \cdot (5 + 5)}{0,283} = 54,81 \frac{\kappa H}{cm^2}.$$

4. Далее, для случая 1, отыскиваются напряжения в арматуре  $\sigma_{s,n-1}^\delta$  в произвольном  $k$ -том сечения неразрушенной части  $(n-1)$ -раз внутренне (внешне) статически неопределенной системы в течение первого полупериода колебаний:

$$\sigma_{s,n-1}^\delta = 2\sigma_{s,n-1}^c - \sigma_{s,n}^c;$$

$$\sigma_{s,n-1}^\delta = 2 \cdot 54,81 \frac{\kappa H}{cm^2} - 3,14 \frac{\kappa H}{cm^2} = 106,48 \frac{\kappa H}{cm^2}.$$

5. В итоге, для случая 1, отыскивается коэффициент динамичности для напряжений в хомутах (в зоне II, рис. 2):

$$\frac{\sigma_{s,n-1}^\delta}{\sigma_{s,n-1}^c} = \frac{106,48 \frac{\kappa H}{cm^2}}{54,81 \frac{\kappa H}{cm^2}} = 1,942.$$

6. **Случай II.** Представительный объем находится в условиях напряженно-деформированного состояния «сжатие–растяжение»

$$\sigma_{s,n-1}^c = \frac{0,18 \frac{\kappa H}{cm^2} \cdot 5 \cdot 5 + 2 \cdot 8,71 \cdot 0,18 \cdot 0,283 + \left( \frac{2}{3} \cdot \frac{0,5 \cdot 1,93 \frac{\kappa H}{cm^2}}{1,5} - \frac{2}{3} \cdot \frac{0,4 \cdot 1,93 \frac{\kappa H}{cm^2}}{1,5} \right) \cdot 10 \cdot (5 + 2,5)}{0,283} - \frac{\left( \frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 1,93 \frac{\kappa H}{cm^2} - \frac{2}{3} \cdot 0,4 \cdot 1,93 \frac{\kappa H}{cm^2} \right) \cdot 10 \cdot (5 + 5)}{0,283} = 7,87 \frac{\kappa H}{cm^2}.$$

7. Далее, для случая II, отыскиваются напряжения в арматуре  $\sigma_{s,n-1}^\delta$  в произвольном  $k$ -том сечения неразрушенной части  $(n-1)$ -раз внутренне (внешне) статически неопределенной системы в течение первого полупериода колебаний:

$$\sigma_{s,n-1}^{\partial} = 2\sigma_{s,n-1}^c - \sigma_{s,n}^c;$$

$$\sigma_{s,n-1}^{\partial} = 2 \cdot 7,87 \frac{\kappa H}{cm^2} - 3,14 \frac{\kappa H}{cm^2} = 12,61 \frac{\kappa H}{cm^2}.$$

8. В итоге, для случая II, отыскивается коэффициент динамичности для напряжений в хомутах (в зоне II, рис. 1):

$$\frac{\sigma_{s,n-1}^{\partial}}{\sigma_{s,n-1}^c} = \frac{12,61 \frac{\kappa H}{cm^2}}{7,87 \frac{\kappa H}{cm^2}} = 1,603.$$

**Выводы.** Таким образом, в результате проведенных исследований предложены расчетные модели статико-динамического деформирования в виде представительных объемов, вырезаемых в окрестностях продольной и поперечной (хомуты или отгибы) арматуры железобетонной конструкции при кручении с изгибом в момент образования пространственной трещины. Приведены основные гипотезы и диаграммы деформирования арматуры для оценки эффекта импульсного воздействия на железобетонную конструкцию в момент образования пространственной трещины.

Получены зависимости для определения напряжений в растянутой арматуре  $\sigma_{s,n-1}^{\partial}$  в сечении с трещиной, возникающие в этой системе при переходе  $n$ -системы в систему  $(n-1)$  в результате мгновенного разрушения части сечения  $k$ .

Для обоснования полученных результатов, в качестве примера, рассмотрены сечение с пространственной трещиной железобетонной опытной конструкции прямоугольного сечения третьей серии КИП-III-1,2, подверженной кручению с изгибом в экспериментальных исследованиях авторов [9, 12]. При этом рассмотрены два случая: случай I, когда представительный объем находится в условиях напряженно-деформированного состояния «растяжение – растяжение»; случай II когда представительный объем находится в условиях напряженно-деформированного состояния «сжатие – растяжение». В итоге коэффициент динамичности для напряжений в хомутах для первого случая принимает значение, равное 1,942, а для второго, – 1,603. Таким образом, наличие сжимающих напряжений существенно снижает значение коэффициента динамичности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурашев, В. И. Железобетонные конструкции. Общий курс : учебник / П. Л. Пастернак, В. И. Мурашев, Э. Е. Сигалов, В. Н. Байков; под ред. П. Л. Пастернака. – М. : Госстройиздат, 1962. – 662 с.
2. Бондаренко, В. М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона : монография / В. М. Бондаренко, В. И. Колчунов. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 472 с.
3. Верюжский, Ю. В. Методы механики железобетона / Ю. В. Верюжский, В.И. Колчунов. – К. : Книжное изд-во НАУ, 2005. – 653 с.
4. Голышев, А.Б. Сопротивление железобетона: монография / А.Б. Голышев, В. И. Колчунов.– К.: Основа, 2009. – 432 с.
5. Голышев, А.Б. Теория и расчет железобетонных сборно-монолитных конструкций с учетом длительных процессов : монография / А. Б. Голышев, В. И. Колчунов, И. А. Яковенко ; под ред. д-ра техн. Наук А. Б. Голышева. – К. : «Талком», 2013. – 337 с.
6. Голышев, А. Б. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях: монография / А. Б. Голышев, В. И. Колчунов, И. А. Яковенко. – К. : «Талком», 2015. – 371 с.
7. Гениев, Г. А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях : монография / [Гениев Г. А., Колчунов В. И., Клюева Н. В. и др.]. – М. : АСВ, 2004. – 216 с.
8. Колчунов, В. И. Расчетная модель статико-динамического деформирования железобетонные изгибающихся конструкций в момент разрушения бетонной растянутой матрицы / В. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2016. – Вип. 3(98). – Ч. 1. – С. 56–62.

9. Salnikov A., Kolchunov VI., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726 (2015), pp 784–789.
10. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения : СП 63.13330.2012. – [Введены в действие с 2013–01–01]. – М. : Министерство регионального развития РФ, 2012. – 156 с. – (Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 52–01–2003).
11. Методика определения жесткости плосконапряженных и стержневых железобетонных составных конструкций при сейсмических воздействиях / [Колчунов В. И., Марьенков Н. Г., Омельченко Е. В. идр.] // Промышленное гражданское строительство. – М. : 2014. – №2. – С. 12–15.
12. Колчунов, Вл. И. Экспериментальные исследования трещинообразования железобетонных конструкций при кручении с изгибом / Вл. И. Колчунов, А.С. Сальников // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 3(65). – С. 24–32.

**Демьянов Алексей Иванович**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Кандидат технических наук, доцент, докторант

E-mail: [speccompany@gmail.com](mailto:speccompany@gmail.com)

**Колчунов Владимир Иванович**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства

E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

**Сальников Алексей Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск

Аспирант

E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

**Михайлов Михаил Михайлович**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск

Магистр кафедры уникальных зданий и сооружений

E-mail: [mixail.mixajloff2013@yandex.ru](mailto:mixail.mixajloff2013@yandex.ru)

---

A. DEM'YANOV, VI. KOLCHUNOV, A. SALNIKOV, M. MIHAIEV

### THE CALCULATION MODELS OF STATIC AND DYNAMIC DEFORMATION REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS IN TORSION WITH BENDING AT THE TIME OF THE SPATIAL CRACK FORMATION

*The article proposes to introduce static-dynamic model of the second level deformation in a complex stress-strain state torsion with bending at the time of spatial crack formation. These models take into account impulse action in the form of representative volumes of concrete cut from the reinforced concrete structure in the vicinity adjacent to the spatial crack of concrete prisms including the reinforcing bar and subject to central tensile with shear. In this case, the influence of internal stresses takes into account integrally, not directly, in cross-sections which have taken for cutting of the proposed second level models, through a specially-constructed first-level computational model. This first- level model simulates spatial section with internal forces arising in it, i.e. this influence is evident in a representative volume through such parameters as the distance between the spatial cracks, the stress in the working reinforcement of the investigated zone in second stage, and also in the determination of the main (or normal and shear stresses, depending on the cross-section has made) deformation (stresses) of concrete and deformation (stresses) of the reinforcing rod entering to the representative volume, which adjacent to the surface of another simulated not appeared spatial crack in stage Ia. The basic working hypotheses are given. Dependences were obtained for determining the stresses in the stretched reinforcement that would have arisen in this system if the n-system transition to the system (n-1) as a result of instant destruction of a section of the section k.*

**Key words:** reinforced concrete structures, torsion with bending, calculation models, deformation, impulse action.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Murashev V. I. Zhelezobetonnyye konstruktsii. Obshchiy kurs : uchebnik / pod red. P. L. Pasternaka / V. I. Murashev, E. Ye. Sigalov, V. N. Baykov. – M. : Gosstroyizdat, 1962. – 662 s.
2. Bondarenko, V. M. Raschetnyye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona : monografiya / V. M. Bondarenko, V. I. Kolchunov. – M. : Izd-vo ASV, 2004. – 472 c.
3. Veryuzhskiy, YU. V. Metody mekhaniki zhelezobetona / YU. V. Veryuzhskiy, V.I. Kolchunov. – K. : Knizhnoye izd-vo NAU, 2005. – 653 c.
4. Golyshev A.B. Soprotivleniye zhelezobetona: monografiya / A.B. Golyshev, V. I. Kolchunov.– K.: Osnova, 2009. – 432 s.
5. Golyshev A. B. Teoriya i raschet zhelezobetonnykh sborno-monolitnykh konstruktsiy s uchetom dilitel'-nykh protsessov : monografiya / A. B. Golyshev, V. I. Kolchunov, I. A. Yakovenko ; pod red. d-ra tekhn. Nauk A. B. Golysheva. – K. : «Talkom», 2013. – 337 s.
6. 1.Golyshev A. B. Soprotivleniye zhelezobetonnykh konstruktsiy, zdaniy i sooruzheniy, vozvodimykh v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh: monografiya / A. B. Golyshev, V. I. Kolchunov, I. A. Yakovenko. – K. : «Talkom», 2015. – 371 s.
7. Geniyev G. A. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstruktsiy pri zaproyektivnykh vozdeystviyah : monografiya / [Geniyev G. A., Kolchunov V. I., Klyuyeva N. V. i dr.]. – M. : ASV, 2004. – 216 s.
8. Kolchunov V. I. Raschetnaya model' statiko-dinamicheskogo deformirovaniya zhelezobetonnyye izgibaye-mykh konstruktsiy v moment razrusheniya betonnoy rastyanutoy matritsy / V. I. Kolchunov, I. A. Yakovenko // Visnik Kremenchuts'kogo natsional'nogo universitetu imeni Mikhayla Ostrograds'kogo. – 2016. – Vip. 3(98). – CH. 1. – S. 56–62.
9. Salnikov A., Kolchunov VI., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in rein-forced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726 (2015), pp 784–789.
10. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii. Osnovnyye polozheniya : SP 63.13330.2012. – [Vvedeny v deystviye s 2013–01–01]. – M. : Ministerstvo regional'nogo razvitiya RF, 2012. – 156 s. – (Svod pravil. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52–01–2003).
11. Metodika opredeleniya zhhestkosti ploskonapravlyennykh i sterzhnevyykh zhelezobetonnykh sostavnnykh konstruktsiy pri seismicheskikh vozdeystviyah / [Kolchunov V. I., Mar'yenkov N. G., Omel'chenko Ye. V. idr.] // Promышленно-гражданское строительство. – M. : 2014. – №2. – S. 12–15.
12. Kolchunov VI. I. Ekspерimental'nyye issledovaniya treshchinoobrazovaniya zhelezobetonnykh konstruktsiy pri kruchenii s izgibom / VI. I. Kolchunov, A.S. Sal'nikov // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2016. – № 3(65). – S. 24–32.

**A. Dem'yanov**

Southwest State University, Kursk

Candidate of Technical Sciences (PhD), assistant professor, doctoral student

E-mail: [speccompany@gmail.com](mailto:speccompany@gmail.com)

**VI. Kolchunov**

Southwest State University, Kursk

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Industrial and Civil Engineering Department

E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

**A. Salnikov**

Bryansk State Academy of Engineering and Technology, Bryansk

Postgraduate student

E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

**M. Mihailov**

Southwest State University, Kursk

Master of Industrial and Civil Engineering Department

E-mail: [mixail.mixajloff2013@yandex.ru](mailto:mixail.mixajloff2013@yandex.ru)

УДК 504.75

КУПРИЯНОВ В.Н., ШАФИГУЛЛИН Р.И.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ФОНА РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА В ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ

*В статье приводятся сведения о выполненных исследованиях по определению уровня интенсивности электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного диапазона на территории жилого микрорайона вблизи телебашни. Исследования выполнялись в несколько этапов для электромагнитных волн (ЭМВ) частотами 1 ГГц, 2,45 ГГц, 5 ГГц, 7 ГГц, являющиеся наиболее характерными для внешних источников, распространенных в городской среде (сотовой связи, телевидения, радиосвязи). В статье приводятся результаты натурных исследований интенсивности излучения на примере микрорайона города с выводами и рекомендациями. Результаты натурных исследований для указанных частот электромагнитных волн приведены в виде карт электромагнитных полей с указанием интенсивности сигнала. Авторами рассмотрены два метода исследования интенсивности электромагнитных полей на территории, застроенной жилой застройкой.*

**Ключевые слова:** электромагнитные излучения; электромагнитный фон жилой застройки; электромагнитная защита.

**Общие сведения.** При проектировании защиты зданий от электромагнитных излучений (ЭМИ) наружных источников первым этапом проектирования защиты является оценка фактического электромагнитного фона застраиваемой или застроенной селитебной территории. Главной задачей натурных исследований по установлению электромагнитного фона является установление максимального значения интенсивности ЭМВ территории для последующего проектирования мероприятий по защите зданий. Для этого рекомендуется составлять карты ЭМП обследуемого участка застройки.

Предполагается, что электромагнитный фон меняется в зависимости от особенностей рельефа, погодных условий, времени суток, времени года и, самое главное, от конфигурации застроенного или застраиваемого микрорайона [1,2]. В связи с этим авторами предпринята попытка установить влияние этих факторов на электромагнитный фон жилого микрорайона с целью определить основные критерии.

**Актуальность.** В городской среде с каждым годом возрастает количество и мощность источников ЭМИ. Это системы сотовой связи, радиорелейные связи, радио и телевещание, радиолокационные станции и другие, которые создают общегородской электромагнитный фон. За последние 50 лет суммарная мощность радиоизлучений возросла в нашей стране в десятки раз, что является не естественным для живых организмов [3, 4, 5]. Поэтому исследование электромагнитного фона с целью разработки защиты жилых зданий является актуальной проблемой.

**О распространении ЭМВ в городской среде.** Из курса электродинамики известно, что такие свойства как «отражение», «интерференция», «дифракция» свойственны для ЭМВ, что связано с расположением различных препятствий [6, 7]. Наличие препятствий приводит к усилению, ослаблению, отражению или поглощению ЭМВ. Поэтому конфигурация существующей застройки городской среды имеет важное значение. Это должно учитываться при оценке электромагнитного фона существующей застройки и проектировании генерального плана участка.

Известно, что ЭМВ имеют способность огибать препятствия (рис.1г), Эта способность, называемое «дифракцией» сильно зависит от частоты. С увеличением частоты это способность уменьшается и стремится к принципу указанному на схеме рис.1в. Так, например, для миллиметровых и децимиллиметровых волн не свойственна дифракция (рис.1в.), а для волн коротких и средних волн диапазона свойственно огибание за горизонт, в связи с чем сигнал, например телевещания, намного лучше [8,9]. Длинные волны могут отражаться от ионосферы. Эта их способность теряется на частоте порядка 30 МГц. По этим причинам использование коротких и средних волн для вещания является достаточно выгодным с точки зрения обеспечения аудитории качественным сигналом. В пасмурную погоду в связи с отсутствием отражения сигнал ЭМВ ухудшается.

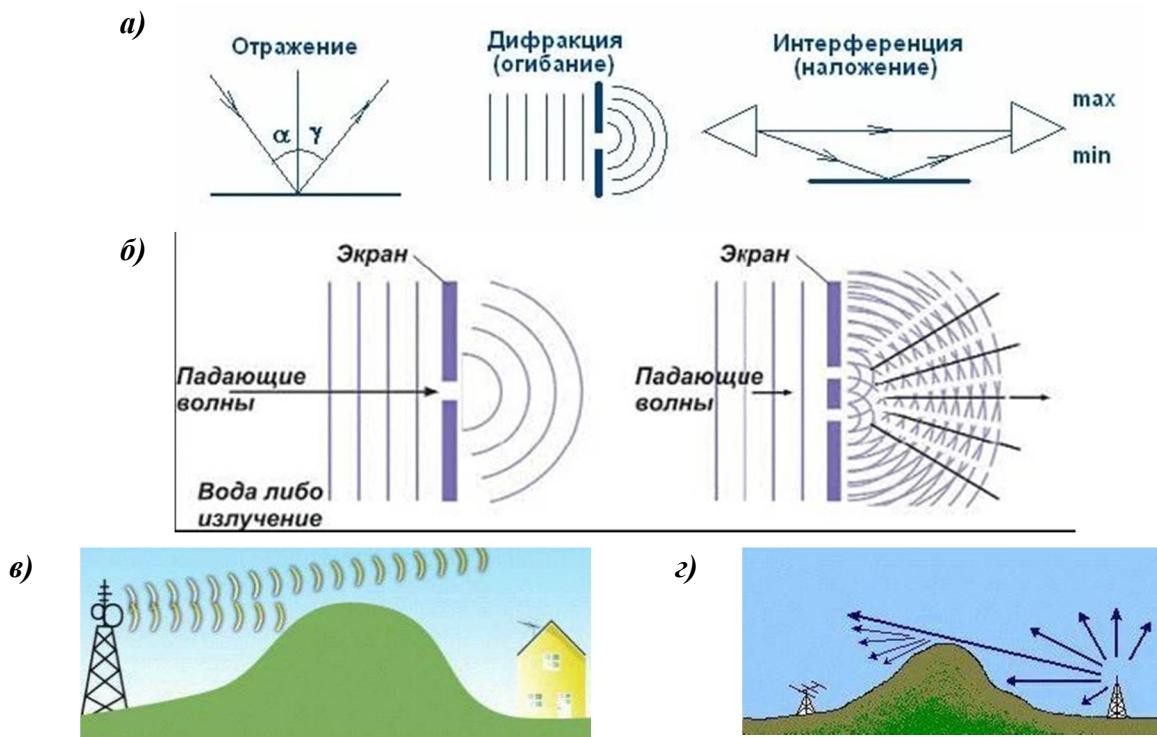


Рисунок 1- Принципиальные схемы процессов «отражения», «дифракции» и «интерференции» ЭМВ

В случае интерференции две волны приходят в одну точку. Если частота одинаковая, то происходит суммирование напряженностей. Результат будет зависеть от разности фаз слагаемых. При разности фаз 180 градусов происходит вычитание.

Таким образом, распространение и уровень сигнала зависит от многих процессов. В случае сложной конфигурации распространение ЭМВ происходит хаотично и не предсказуемо. В связи с этим независимо от мощности источника ЭМИ необходимо выполнять исследование микрорайона и определение максимального значения интенсивности ЭМВ. Для исследования особенностей и характера распространения ЭМВ в условиях городской застройки авторами проведены натурные эксперименты по определению электромагнитного фона микрорайона вблизи телебашни.

Таблица 1 - Классификация электромагнитных волн

Наименование частотного диапазона	Границы диапазона	Наименование волнового диапазона	Границы диапазона
Крайние низкие, КНЧ	[3..30] Гц	Декамегаметровые	[100..10] Мм
Сверхнизкие, СНЧ	[30..300] Гц	Мегаметровые	[10..1] Мм
Инфразвуковые, ИНЧ	[0,3..3] КГц	Гектокилометровые	[1000..100] км
Очень низкие, ОНЧ	[3..30] КГц	Мириаметровые	[100..10] км
Низкие частоты, НЧ	[30..300] КГц	Километровые	[10..1] км
Средние, СЧ	[0,3..3] МГц	Гектометровые	[1..0,1] км
Высокие, ВЧ	[3..30] МГц	Декаметровые	[100..10] м
Очень высокие, ОВЧ	[30..300] МГц	Метровые	[10..1] м
Ультравысокие, УВЧ	[0,3..3] ГГц	Дециметровые	[1..0,1] м
Сверхвысокие, СВЧ	[3..30] ГГц	Сантиметровые	[10..1] см
Крайне высокие, КВЧ	[30..300] ГГц	Миллиметровые	[10..1] мм
Гипервысокие, ГВЧ	[300..3000] ГГц	Децимиллиметровые	[1..0,1] мм
		Световые	Менее 0,1 мм

Исследования проводились в разные периоды года. При определении электромагнитного фона данного района в качестве контрольных частот были выбраны следующие частоты: 1 ГГц, 2,45 ГГц, 5 ГГц и 7 ГГц. Данные частоты наиболее характерны для телевизионной, радио-, сотовой

## Безопасность зданий и сооружений

связи (таблица 2). Согласно СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях нормируемым параметром для данных частот является плотность потока энергии (ППЭ). Предельно-допустимые уровни (ПДУ) приведенные в СанПиН 2.1.2.2645-10 указаны в таблице 3.

Таблица 2 - Таблица источников ЭМВ с соответствующими частотами

№	Наименование	Частоты
1	Системы сотовой связи, транкинговая связь	0,450 ГГц, 0,9 МГц, 1,8 МГц, 2,1 ГГц
2	Уличные, местные системы Wi-fi сетей	2,450 ГГц, 5,200 ГГц
3	Радиорелейная связь	0,3 ГГц-300 ГГц
4	Спутниковая связь	1,5 ГГц-30 ГГц
5	Любительская радиосвязь (КВ, УКВ)	150 кГц-1 ГГц
6	Радиосвязь на средствах транспортах	30 кГц-3 ГГц
7	Радио и телевещание	30 кГц-3 ГГц
8	Радиолокационные станции, радары	3 МГц-110 ГГц
9	Промышленные энергетические источники	0,1-30 ГГц

Таблица 3 - Приложение №6 к СанПиН 2.1.2.2645-10 «Допустимые уровни ЭМП диапазона частот 30 кГц - 300 ГГц для населения (на селитебной территории, в местах массового отдыха, внутри жилых помещений)»

Диапазон ча- стот	30 - 300 кГц	0,3 - 3 МГц	3 - 30 МГц	30 - 300 МГц	300 МГц - 300 ГГц
Нормируемый параметр	Напряженность электрического поля, Е (В/м)				Плотность потока энергии, ППЭ (мкВт/см <sup>2</sup> = 0,001 мВт/см <sup>2</sup> )
Предельно до- пустимые уровни	25,0	15,0	10,0	3,0	10; 25*

\* для случаев облучения от антенн, работающих в режиме кругового обзора или сканирования.

Описание эксперимента. Работы проводились при помощи прибора ПЗ-41 предназначенного для обнаружения и контроля биологически опасных уровней электромагнитных излучений напряженности, плотности потока энергии и экспозиции для обеспечения выполнения требований Общего Технического Регламента об электромагнитной совместимости и безопасности, действующего в странах Европейского Союза и РФ. Прибор предназначен для использования в диапазоне частот 30 кГц – 40 ГГц. Измеритель используется для измерения ППЭ и среднеквадратических значений напряженности электрического и магнитного полей в режиме непрерывной генерации при проведении контроля уровней электромагнитного поля на соответствие требований ГОСТ Р 51070, ГОСТ 12.1.006-84, ГН 2.1.8/2.2.4.019-90, СанПин 2.2.4/2.1.8.055-96, СанПин 2.1.2.1002-00, СанПин 2.1.8/2.2.4.1190-03 и МУК 4.3.1167-02.

В зависимости от предполагаемого источника излучения и условий определения электромагнитного фона в приборе используются различные антенны. Согласно руководства по прибору ПЗ-41 [10] для данного частотного диапазона применялась антenna АП-1.

В приборе имеются возможности определения текущих значений, усредненных и максимальных значений за последние 6 минут измерения напряженности электрического и магнитного полей, ППЭ. В данной работе исследования проводились в режиме текущих значений с фиксированием максимального значения за 5 секунд.

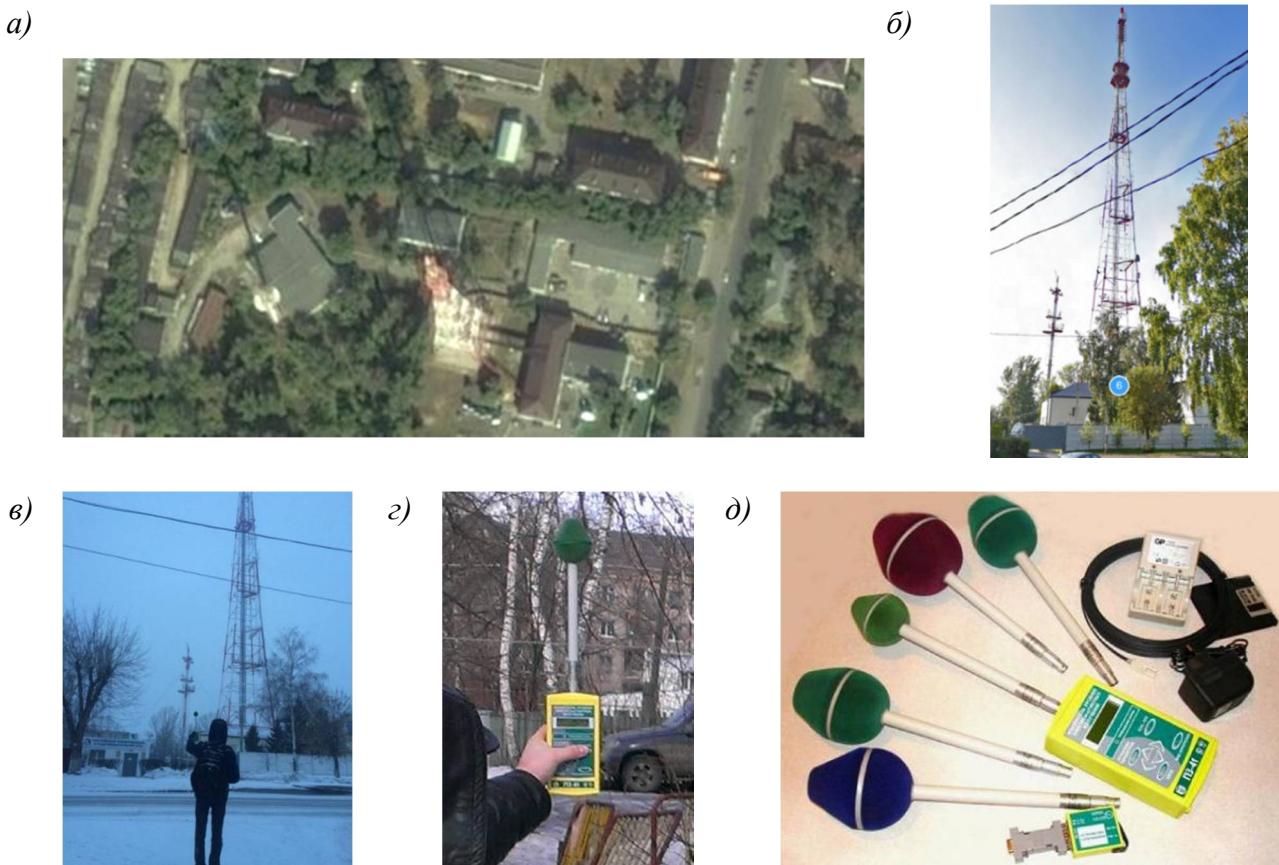
При исследовании электромагнитного фона рассматриваемого участка авторами проведены два типа исследований. Целью проведения двух типов экспериментов было определение наиболее эффективного подхода для получения более характерного и информативного способа исследования электромагнитного фона. Данные способы отличаются расположением контрольных точек. В первом случае измерения проводились вокруг здания в нескольких точках с учетом возможного усиления и ослабления сигнала до препятствия и после препятствия («теневые зоны»). По результатам этих исследований выделены условные зоны интенсивности излучения (рис.3, 4). Во втором случае измерения проводились по сетке координатной сетке по абсциссам и ординатам, что позволяет проанализировать направленность излучения (рис.5, 6). Результаты выполненных натурных исследований приведены на картах электромагнитных полей с указанием изополей и соответствующих значений, интенсивностей в контрольных точках.

**Таблица 4 - Перечень используемых антенн ПЗ-41**

№	Наименование	Диапазон частот	Назначение
1	Антенна АП-1	0,3 ГГц - 40 ГГц	Измерение плотности потока энергии ППЭ для слабых источников (жилые помещения) в диапазоне 0,26-100000 мкВт/см <sup>2</sup>
2	Антенна АП-2	0,3 ГГц - 40 ГГц	Измерение плотности потока энергии ППЭ для мощных источников в диапазоне 1000-1000000 мкВт/см <sup>2</sup>
3	Антенна АП-3	30 кГц – 0,300 ГГц	Измерение электрического поля «E» для слабых источников (жилые помещения) в диапазоне 0,5-300 В/м
4	Антенна АП-4	30 кГц - 300 мГц	Измерение электрического поля «E» для мощных источников в диапазоне 10-1500 В/м
5	Антенна АП-5	30 кГц - 50 мГц	Измерение магнитного поля «H» используется для определения магнитной составляющей в диапазоне 0,05-8 А/м.

**Анализ.** Анализируя результаты карт электромагнитных полей представленной на рисунки 3-6 можно установить, что имеются зоны с превышением значения 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Причиной образования таких зон объясняется процессами отражения и наложения электромагнитных волн препятствиями, являющимися в данном случае жилые здания.

Изучив характер интенсивности в контрольных точках выявлена тенденция уменьшения уровня сигнала за зданиями. В таких точках уровень ППЭ достигает нулевого значения («теневые зоны»). Наиболее наглядно это показано на рисунке 3 и 4. Этот эффект объясняется прямолинейностью распространения электромагнитной волны, что характерно для ультравысоких (1-3 ГГц) и сверхвысоких (3-7 ГГц) волн. Наличие значений отличных от нуля объясняется особенностью дифракции электромагнитных волн (огибание препятствий). Это связано с размерами препятствий (длина и высота здания).

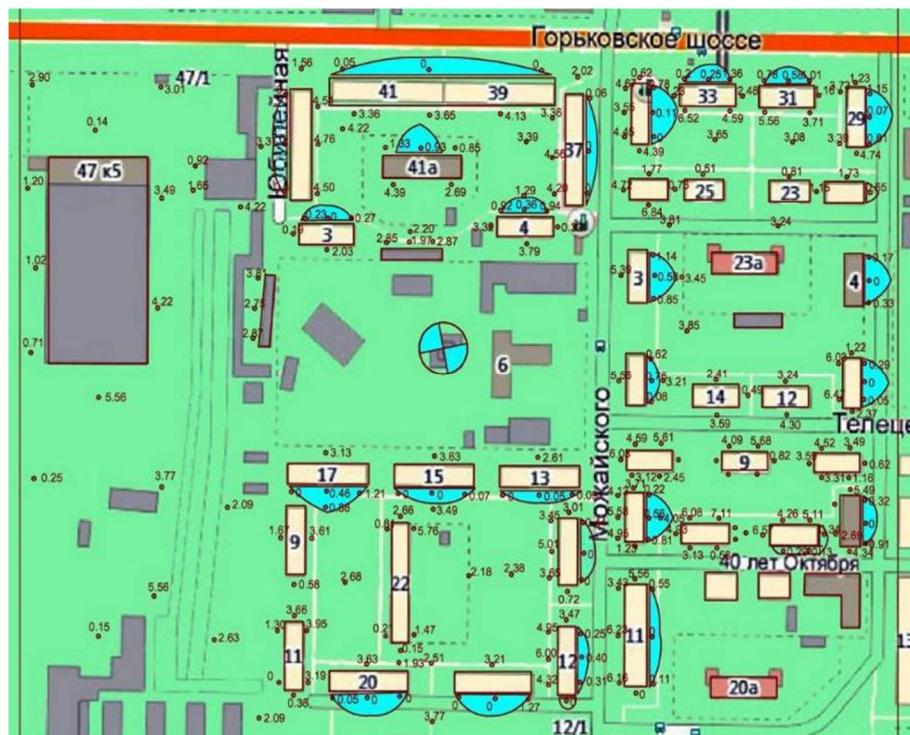


**Рисунок 2 - Общий вид исследованного участка, рабочего момента по определению интенсивности ЭМВ и прибора ПЗ-41**

Другим важным выводом по результатам проведенных экспериментов является то, что передающие антенны теле-радиосигналов работают в разных по мощности сигнала режимах, в результате чего происходит изменение уровня электромагнитных волн во времени. Этот факт объясняет существование различных значений интенсивности в разные периоды времени в одних и тех же точках. По значениям интенсивности, указанных на картах электромагнитных полей, можно увидеть, что мощности сигнала вокруг источника излучения распространяется не равномерно, что объясняется направленностью излучения используемых антенн.



**Рисунок 3 - Карта электромагнитных полей жилой застройки с указанием изолиний плотности потока энергии (ППЭ) при частоте 1,0 ГГц вблизи от телебашни (9.00-15.00/воскресенье/март):**  
■ 0-1 мВт/см<sup>2</sup>; ■ 2-9 мВт/см<sup>2</sup>; ■ 10-14 мВт/см<sup>2</sup>



**Рисунок 4 - Карта электромагнитных полей жилой застройки с указанием изолиний плотности потока энергии (ППЭ) при частоте 2,45 ГГц вблизи от телебашни (9.00-18.00/пятница/март)**  
■ 0-1 мВт/см<sup>2</sup>; ■ 2-9 мВт/см<sup>2</sup>; ■ 10-14 мВт/см<sup>2</sup>

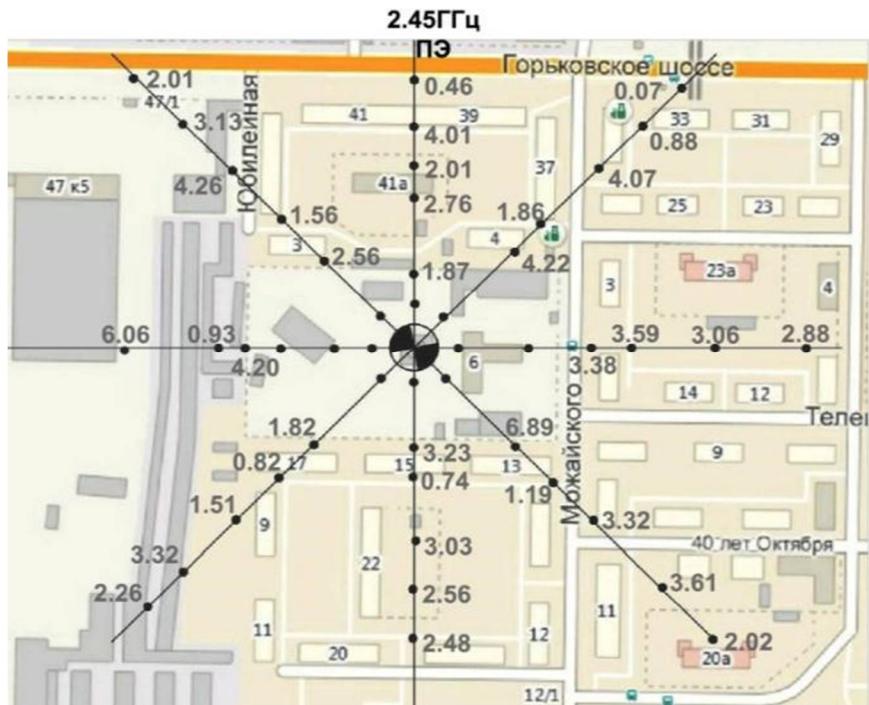


Рисунок 5 - Карта электромагнитных полей жилой застройки с указанием изолиний плотности потока энергии (ППЭ) при частоте 2,45 ГГц вблизи от телебашни (9.00-15.00/суббота/сентябрь)

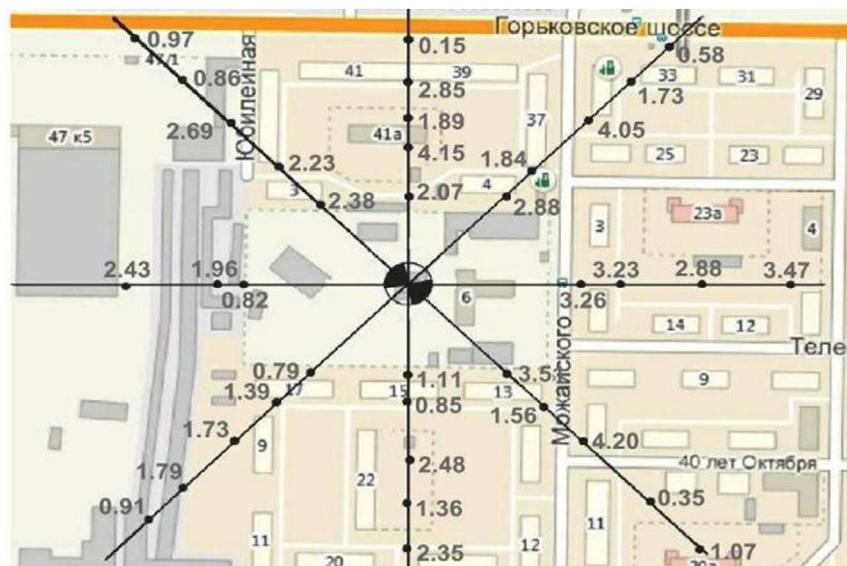


Рисунок 6 - Карта электромагнитных полей жилой застройки с указанием изолиний плотности потока энергии (ППЭ) при частоте 5,0 ГГц вблизи от телебашни (9.00-15.00/воскресенье/февраль)

Исследование электромагнитного фона обследуемой территории является первым этапом при оценке и разработке электромагнитной защиты зданий. Следующим этапом является оценка защиты ограждающих строительных конструкций существующих или вновь возводимых зданий от электромагнитного воздействия.

На рисунках 3-6 приведены карты электромагнитных полей жилого микрорайона с указанием выявленных значений «ППЭ» ( $\text{мкВт}/\text{см}^2$ ), выполненные в разное время.

**Выводы.** Основные выводы, которые можно сделать по результатам проведенных работ:

- 1) Общий электромагнитный фон исследованного микрорайона для рассмотренных частот находится в пределах норм, однако при проведении исследований выявлены зоны превышения

шения ПДУ, предусмотренные в СанПиН 2.1.2.2645-10 приложения 6. Выявленные зоны усиления интенсивности сигнала ЭМВ связаны с наложением когерентных волн;

2) Предположение о зависимости электромагнитного фона обследуемого участка от времени года, времени суток и от погодных условий проведенными экспериментами не подтвердилась;

3) Электромагнитные волны УВЧ (1-3 ГГц) и СВЧ (3-7 ГГц) распространяются прямолинейно (дифракция препятствий не значительна);

4) За зданиями выявлены «теневые зоны», свидетельствующие о ослаблении сигнала препятствиями на пути распространения сигнала от источника излучения;

5) По территории микрорайона распространение ЭМВ происходит неравномерно, что связано с диаграммой направленности, излучающих антенн.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. в 5 т. Т. III. Электричество. – 4-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, Изд-во МФТИ, 2004. – 656 с.
2. Харлов, Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.
3. Куприянов, В.Н. Экологическая безопасность городской среды при воздействии электромагнитных полей / В.Н. Куприянов, Р.И. Шафигуллин // Известия КГАСУ, 2015. – №1(31). – С.171–179.
4. Григорьев, Ю.Г. Электромагнитное загрязнение окружающей среды и здоровье населения России / Ю.Г. Григорьев, О.А. Григорьев, В.С. Степанов, Ю.П. Пальцев. – М.: Фонд «Здоровье и окружающая среда», 1997. – 91 с.
5. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. – М.: Радио и связь, 2000. – 240 с.
6. Лавров, В.М. Теория электромагнитного поля и основы распространения радиоволн. 1964г. 230с.
7. Литвинов, О.С. Электромагнитные волны и оптика: Учеб.пособие / О.С. Литвинов, В.С. Горелик. – М.: Издательство МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2006. – 448 с.: ил.(Физика в техническом университете/Под ред.Л.К. Мартинсона, А.Н. Морозова.
8. Регламент радиосвязи. Статьи. Регламент конвенции международного союза электросвязи (ITU). – Женева: Швейцария, 2014. – 424 с.
9. Естафьев, В.Н. Уровни электромагнитных излучений, создаваемые мобильными телефонами и другиминосимыми радиопередающими устройствами / В.Н. Естафьев, С.А. Гоженко // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2014. – № 1 (35) . – С. 46-57.
10. Руководство по эксплуатации ГНКБ 411153.002РЭ. Измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-41/ Нижний Новгород, 2003. – 20с.

#### **Куприянов Валерий Николаевич**

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань  
Д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Проектирование зданий»  
E-mail: [kuprivan@kgasu.ru](mailto:kuprivan@kgasu.ru)

#### **Шафигуллин Рамиль Ибрагимович**

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань  
Аспирант кафедры «Проектирование зданий»  
E-mail: [mailram@yandex.ru](mailto:mailram@yandex.ru)

---

V. KUPIRIYANOV, R.SHAFIGULLIN

## **STUDY OF THE ELECTROMAGNETIC BACKGROUND OF THE RADIO FREQUENCY RANGE IN THE RESIDENTIAL DEVELOPMENT**

*The article contains information on the performed studies to determine the level of intensity of electromagnetic fields (EMF) of the radio frequency range in the territory of a residential microdistrict near the TV tower. The studies were carried out in several stages for electromagnetic waves (EMW) with frequencies of 1 GHz, 2.45 GHz, 5 GHz, 7 GHz, which are the most characteristic for external sources common in the urban environment (cellular communications, television, radio communications). The results of full-scale studies of radiation intensity are presented in the article with the example of the city microdistrict with conclusions and recommendations. The results of full-scale studies for the indicated frequencies of electromagnetic waves are shown in the form of maps of electromagnetic fields indicating the intensity of the signal. The authors considered two methods for studying the intensity of electromagnetic fields in the built-up residential area.*

**Key words:** *electromagnetic radiation; electromagnetic background of residential development; electromagnetic protection.*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Sivukhin, D. V. Obshchiy kurs fiziki. Ucheb. posobiye: Dlya vuzov. v 5 t. T. III. Elektrichestvo. – 4-ye izd., stereot. – M.: FIZMATLIT; Izd-vo MFTI, 2004. – 656 s.
2. Kharlov, N.N. Elektromagnitnaya sovmestimost' v elektroenergetike: Uchebnoye posobiye. – Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. – 207 s.
3. Kupriyanov, V.N. Ekologicheskaya bezopasnost' gorodskoy sredy pri vozdeystvii elekromagnitnykh poley / V.N. Kupriyanov, R.I. Shafigullin // Izvestiya KGASU, 2015. – №1(31). – S.171–179.
4. Grigor'yev, YU.G. Elektromagnitnoye zagryazneniye okruzhayushchey sredy i zedorov'ye naseleniya Rossii / YU.G. Grigor'yev, O.A. Grigor'yev, V.S. Stepanov, YU.P. Pal'tsev. – M.: Fond «Zedorov'ye i okruzhayushchaya sreda», 1997. – 91 s.
5. Spodobayev YU.M., Kubanov V.P. Osnovy elektromagnitnoy ekologii. – M.: Radio i svyaz', 2000. – 240 s.
6. Lavrov, V.M. Teoriya elektromagnitnogo polya i osnovy rasprostraneniya radiovoln. 1964g. 230s.
7. Litvinov, O.S. Elektromagnitnyye volny i optika: Ucheb.posobiye / O.S. Litvinov, V.S. Gorelik. – M.: Izdatel'stvo MGTU im.N.E. Baumana, 2006. – 448 s.: il.(Fizika v tekhnicheskem universitete/Pod red.L.K. Mar-tinsona, A.N. Morozova.
8. Reglament radiosvyazi. Stat'i. Reglament konventsii mezhdunarodnogo soyuza elektrosvyazi (ITU). – Zheneva: Shveytsariya, 2014. – 424 s.
9. Yestaf'yev, V.N. Urovni elektromagnitnykh izlucheniy, sozdavayemyye mobil'nymi telefonami i drugi-mi nosimymi radioperedayushchimi ustroystvami / V.N. Yestaf'yev, S.A. Gozhenko // Aktual'nyye problemy trans-portnoy meditsiny. – 2014. – № 1 (35) . – S. 46-57.
10. Rukovodstvo po ekspluatatsii GNKB 411153.002RE. Izmeritel' urovney elektromagnitnykh izluche-niy P3-41/ Nizhniy Novgorod, 2003. – 20s.

### **V. Kupriyanov**

Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan  
Doctor of Techn. Sciences, professor, head of the buildings design department  
E-mail: [kuprivan@kgasu.ru](mailto:kuprivan@kgasu.ru)

### **R.Shafigullin**

Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan  
Post-graduate student of the buildings design department  
E-mail: mailram@yandex.ru

УДК 69.001.5.

РИМШИН В.И., ЗАРУБА В.М., ЛАПШИН Г.В.

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПЯТИЭТАЖНОГО КИРПИЧНОГО ЗДАНИЯ**

*Обоснованы и рассмотрены технические процессы, полученные при обследовании пятиэтажного жилого дома в городе Москве. Выявлены материалы несущих наружных ограждающих и внутренних конструкций. В результате технического обследования стен, которое производилось визуально, механическим способом и с применением приборов в выборочном порядке можно констатировать, что они находятся в работоспособном техническом состоянии. При производстве работ по обследованию стен существующая горизонтальная гидроизоляция не вскрывалась. Отмечено разрушение штукатурного слоя наружных ограждающих конструкций и шелушение окрасочного слоя. Изучены уклоны отмостки и сами отмостки, состоящие из бетонного слоя, который находится в удовлетворительном состоянии. При обследовании балконов по главному, дворовому и боковым фасадам выявлено повреждение их несущих конструкций, отмечено повреждение ограждающего защитного слоя, а также коррозийное повреждение арматуры в результате средовых деградационных атмосферных воздействий. Даются рекомендации по восстановлению несущей способности конструкции и проведению работ по восстановлению эстетических характеристик.*

**Ключевые слова:** мониторинг, обследование строительных конструкций многоквартирного жилого дома, дефекты, повреждения.

В Российской Федерации, в настоящее время осуществляются масштабные мероприятия в рамках государственных программ и приоритетных проектов, направленных на модернизацию, реконструкцию и капитальный ремонт зданий и сооружений.

В последние годы научные исследования, которые должны способствовать применению новых конструкций, строительных материалов, технологий, новых высокотехнологичных проектных решений осуществляются в том числе в рамках Государственной программы «Развитие науки и технологии на 2013-2020 гг.», утвержденной Правительством Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 301 а также программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2013-2020 гг.), утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2012 г. № 2538-Р (в редакции распоряжения Российской Федерации от 28 октября 2015 г. № 2179-Р). Основной целью планируемых фундаментальных научных исследований является научное сопровождение процессов, формирование архитектурно-градостроительной среды жизнедеятельности, экологически совместимой и безопасной для развития общества, и граждан страны.

В настоящее время в городе Москве реализуются масштабные преобразования, связанные с обновлением городской среды. Старые здания, в которых моральный и физический износ имеют высокие значения должны подвергнуться реконструкции и капитальному ремонту. Микрорайоны, которые застроены жилым фондом в 50-х, 60-х годах прошлого столетия, выполнены в основном в панельном варианте, будут в ближайшее время обследованы и при выявлении конструктивных повреждений и морального износа представляться к сносу. На их месте будут возводиться новые комфортные жилые здания с повышенными характеристиками энергетической и экологической безопасности с обустройством среды отдыха и производственной деятельности. Российскими учеными представлены разработки, позволяющие применить отмеченные научные разработки в реальной практической деятельности [1-15].

Настоящее обследование выполнено с целью определения технического состояния конструкций наружных стен и балконов здания, расположенного по адресу: г. Москва, САО, Михалковская ул., д.40. (Рисунок 1)

Здание 5-ти этажное, 3-х подъездное, в плане Г- образное с размерами в осях 51,3x42,9. В здании предусмотрен подвал. Здание построено в 1917 году по индивидуальному проекту. Данные о последних проведенных ремонтах отсутствуют. Согласно ФЗ №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», здание относится ко 2-му уровню ответственности.

Приведем описание несущих элементов здания. Наружные стены состоят из полнотелого керамического кирпича, а внутренние опоры - несущие стены из кирпича толщиной 510 мм.

Выявлено наличие внутренних поперечных стен, при этом имеются, в том числе стены лестничных клеток. Перекрытие над подвалом выполнено из сборных железобетонных плит. Чердачное перекрытие тоже осуществлено из сборных железобетонных плит. Кровля сделана из оцинкованной кровельной стали по деревянной обрешетке. Пространственная жесткость здания обеспечивается совместной работой наружных и внутренних стен, жестких дисков междуэтажных перекрытий, а также стен лестничных клеток.



Рисунок 1 – Боковой фасад здания



Рисунок 2 – Разрушение защитного слоя бетона балконных плит. Коррозия арматуры

Состояние здания по визуальному обследованию выявляет следующие технические повреждения: выветривание и выщелачивание- отсутствуют, деформации – отсутствуют, состояние перемычек- работоспособное.

Вертикальная планировка двора выполнена. Отмостки асфальтовые, шириной 700-900 мм. Уклоны отмосток от стен здания обеспечены. Проходы и подъезды к зданию асфальтированы. Двор озеленен. Детская площадка и площадка для отдыха взрослых имеются.

Имеются балконы (29 шт.) по главному, дворовому, и боковому фасадам в уровне 3-4 этажей. Балконы из сборных железобетонных плит консольно-защемленных в стенах здания. Ограждения балконов металлические с экранами из стекловолокнистого материала. Отливы из оцинкованной стали. (Рисунок 2)

В уровне 3-го этажа по главному фасаду имеются цветочницы (2 шт.). Цветочницы выполнены из сборных железобетонных плит, консольно-защемленных в стенах здания. Между 2м и 3м, 3м и 4м этажом по фасадам имеется декоративный пояс. Над 5м этажом имеется венчающий карниз.

Фасад здания оштукатурен и окрашен. Цоколь выполнен на высоту 0,7-3,0м, оштукатурен и окрашен.

Оконные блоки – деревянные, частично ПВХ, двухстворчатые, раздельные с двойным остеклением. На деревянных оконных блоках имеются не плотности в притворах, уплотнительные шнуры изношены. В процессе эксплуатации отдельные оконные блоки и двери балконов заменены на вакуумные стеклопакеты в ПХВ переплетах.

Дверь входа в подъезд металлическая. Металлическая дверь входа в подъезд, оборудована кодовым замком и домофоном.

Водосток наружный организованный. Покрытие перед входом в подъезд дома асфальтировано. Домовой знак расположен в уровне 1-го этажа. Домовой знак имеет подсветку в ночное время. Козырёк над входом в подъезд здания выполнен из металлоконструкций. Стени приямка спуска в подвал кирпичные, оштукатуренные, толщиной 280-290мм.

Обследование стен выполнено визуально, механическим способом и приборами в выборочном порядке.

Наружные стены выполнены из полнотелого керамического кирпича толщиной 510 мм. Фасады здания-оштукатурены и окрашены. Цоколь выполнен на высоту 0,7-3,0м, оштукатурен и окрашен. По результатам определения прочности неразрушающим методом: кирпич керамический - М100, цементно-песчаный раствор - М50. Наличие сырости и капиллярной влаги не выявлено. Гидроизоляция стен не вскрывалась. Система кладки из полнотелого кирпича-много рядовая с перевязкой швов. Стены имеют следующие дефекты, которые выявляются в том, что трещины в штукатурном слое наружных стен, шириной раскрытия до 2 мм.

Также определено разрушение штукатурного слоя наружных стен и шелушение окрасочного слоя. (Рисунок 3)

### Выводы и рекомендации:

1. Стены согласно ГОСТ 31937-2011 находятся в работоспособном техническом состоянии.
2. Физический износ стен здания, в соответствии с табл. 10, ВСН 53-86 (п), составляет 20%.
3. Рекомендуется выполнить:
  - Восстановление штукатурного (50%) и окрасочного (100%) слоя наружных стен с ремонтом (50%) и окраской (100%) оконных и дверных откосов;
  - Восстановление штукатурного (10%) и окрасочного (100%) слоя горизонтальных поясков и венчающего карниза;
  - Замену оконных отливов (100%);
  - Заделку трещин по фасадам здания (5м.п.).

Результаты обследования отмеченного дома могут быть полезны при составлении проектно-сметной документации на капитальный ремонт подобных типов зданий в городе Москве и в регионах Российской Федерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.М. Диссипативная теория силового сопротивления железобетона / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин. – М., 2015.
2. Бондаренко, В.М. Усиление железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях: учебное пособие / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин. – М., 2009.
3. Бондаренко, В.М. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин. – М., 2014. (4-е издание, исправленное)
4. Колчунов, В.И. Исследование динамической прочности кирпичной кладки на удар / В.И. Колчунов, Н.Н. Белов, Д.Г. Копаница, Н.Т. Югов, А.В. Рышков, Э.С. Усеинов, И.Н. Архипов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. - 2017. - № 2 (61). - С. 123-140.



Рисунок 3 – Разрушение штукатурного и окрасочного слоя цоколя, наружных стен

5. Колчунов, В.И. Расчетная модель длительного деформирования плосконапряженного коррозионно поврежденного железобетонного элемента в зоне контакта двух бетонов / В.И. Колчунов, М.С. Губанова, Д.В. Карпенко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 1. – С. 49-57.
6. Колчунов, В.И. Вопросы расчетного анализа и защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения / В.И. Колчунов, С.Г. Емельянов // Жилищное строительство. – 2016. – № 10. – С. 17-20.
7. Кришан, А.Л. Определение деформационных характеристик бетона / А.Л.Кришан, М.А. Астафьева, М.Ю. Наркевич, В.И. Римшин // Естественные и технические науки. - 2014. - № 9-10 (77). - С. 367-369.
8. Римшин, В.И. Механика деформирования и разрушения усиленных железобетонных конструкций / В.И. Римшин, Ю.О. Кустикова // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. - 2007. - № 3-15. - С. 53-56.
9. Римшин, В.И. Ресурс силового сопротивления железобетонных конструкций инженерных сооружений / В.И. Римшин, Л.И. Шубин, А.В. Савко // Academia. Архитектура и строительство. - 2009. - №5. - С.483-491.
10. Рошина, С.И. Расчет деформаций, изгибаемых армированных деревянных элементов с учетом ползучести / С.И. Рошина, В.И. Римшин // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2011. - №1(34). - С.121-124.
11. 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. № 3. C. 46-50.
12. Bazhenov Y. M., Erofeev V. T., Rimshin V. I., Markov S. V., Kurbatov V. L. Changes in the topology of a concrete porous space in interactions with the external medium. Engineering Solid Mechanics № 4. 2016. C. 219-225
13. Erofeev V. T., Zavalishin E. V., Rimshin V. I., Kurbatov V. L., Mosakov B. S. Frame composites based on soluble glass. Research Gournal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. T.7. № 3.C. 2506-2517.
14. 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. № 1. C. 661-669.
15. Erofeev V., Karpushin S., Rodin A., Tretiakov I., Kalashnikov V., Moroz M., Smirnov V., Smirnova O., Rimshin V., Matvievskiy A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal portland cement with active mineral additive. Solid State Phenomena. 2016. T. 871. C. 28-32.

**Римшин Владимир Иванович**

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
г. Москва

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ЖКК

E-mail: [v.rimshin@vniizhbeton.ru](mailto:v.rimshin@vniizhbeton.ru)

**Заруба Виктор Мстиславович**

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,  
г. Москва

Магистрант

E-mail: [zarubavm@mail.ru](mailto:zarubavm@mail.ru)

**Лапшин Георгий Владимирович**

Фонд капитального ремонта города Москвы, г. Москва

Ведущий специалист

E-mail: [isuminka@rambler.ru](mailto:isuminka@rambler.ru)

---

V. RIMSHIN, V. ZARUBA, G. LAPSHIN

### TECHNICAL ASPECTS OF THE SURVEY FIVE-STORAGE BRICK BUILDINGS

*The technical processes obtained during the survey of a five-story residential building in the city of Moscow are justified and considered. Revealed materials bearing external fencing and internal structures. As a result of the technical inspection, which was performed visually, mechanically and using devices in a selective manner, it can be stated that they are in a workable technical condition. During the survey work, the horizontal wall waterproofing was not opened. The destruction of the plaster layer of the outer enclosing structures and the peeling of the paint layer were noted. The slopes of the blind area and the blind areas, consisting of a concrete layer, which is in a satisfactory condition, have been studied. When inspecting balconies on the main, courtyard and side facades, damage was detected to their bear-*

ing structures, as well as corrosion damage to the reinforcement as a result of environmental degradation atmospheric influences. Recommendations are given for restoring the bearing capacity of the structure and carrying out works to restore aesthetic characteristics.

**Keywords:** monitoring, inspection of building constructions apartment building, defects, damage.

### BIBLIOGRAPHY

1. Bondarenko, V.M. Dissipativnaya teoriya silovogo soprotivleniya zhelezobetona / V.M. Bondarenko, V.I. Rimshin. – M., 2015.
2. Bondarenko, V.M. Usileniye zhelezobetonnykh konstruktsiy pri korrozionnykh povrezhdeniyakh: uchebnoye posobiye / V.M. Bondarenko, V.I. Rimshin. – M., 2009.
3. Bondarenko, V.M. Primery rascheta zhelezobetonnykh i kamennykh konstruktsiy / V.M. Bondarenko, V.I. Rimshin. – M., 2014.
4. Kolchunov, V.I. Issledovaniye dinamicheskoy prochnosti kirpichnoy kladki na udar / V.I. Kolchunov, N.N. Belov, D.G. Kopanitsa, N.T. Yugov, A.V. Ryshkov, E.S. Useinov, I.N. Arkhipov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. - 2017. - № 2 (61). - S. 123-140.
5. Kolchunov, V.I. Raschetnaya model' dlitel'nogo deformirovaniya ploskonapryazhennogo korrozionno povrezhdennogo zhelezobetonnogo elementa v zone kontakta dvukh betonov / V.I. Kolchunov, M.S. Gubanova, D.V. Karpenko // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy. – 2017. – № 1. – S. 49-57.
6. Kolchunov, V.I. Voprosy raschetnogo analiza i zashchity krupnopanel'nykh zdaniy ot progressiruyushche-go obrusheniya / V.I. Kolchunov, S.G. Yemel'yanov // Zhilishchnoye stroitel'stvo. – 2016. – № 10. – S. 17-20.
7. Krishan, A.L. Opredeleniye deformatsionnykh kharakteristik betona / A.L.Krishan, M.A. Astaf'yeva, M.YU. Narkevich, V.I. Rimshin // Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. - 2014. - № 9-10 (77). - S. 367-369.
8. Rimshin, V.I. Mekhanika deformirovaniya i razrusheniya usilennykh zhelezobetonnykh konstruktsiy / V.I. Rimshin, YU.O. Kustikova // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. - 2007. - № 3-15. - S. 53-56.
9. Rimshin, V.I. Resurs silovogo soprotivleniya zhelezobetonnykh konstruktsiy inzhenernykh sooruzheniy / V.I. Rimshin, L.I. Shubin, A.V. Savko // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. - 2009. - №5. - S.483-491.
10. Roshchina, S.I. Raschet deformatsiy, izgibayemykh armirovannykh derevyaninykh elementov s uchetom polzu-chesti / S.I. Roshchina, V.I. Rimshin // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. - 2011. - №1(34). - S.121-124.
11. 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. № 3. S. 46-50.
12. Bazhenov Y. M., Erofeev V. T., Rimshin V. I., Markov S. V., Kurbatov V. L. Changes in the topology of a concrete porous space in interactions with the external medium. Engineering Solid Mechanics № 4. 2016. S. 219-225
13. Erofeev V. T., Zavalishin E. V., Rimshin V. I., Kurbatov V. L., Mosakov B. S. Frame composites based on soluble glass. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. T.7. № 3.S. 2506-2517.
14. 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. № 1. S. 661-669.
15. Erofeev V., Karpushin S., Rodin A., Tretiakov I., Kalashnikov V., Moroz M., Smirnov V., Smirnova O., Rim-shin V., Matvievskiy A. Rhysical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal portland cement with active mineral additive. Solid State Phenomena. 2016. T. 871. S. 28-32.

#### V. Rimshin

Moscow State University of Architecture and Civil Engineering, Moscow  
Doctor of Techn. Sciences, professor, professor of the reinforced concrete structures department  
E-mail: [v.rimshin@vniizhbeton.ru](mailto:v.rimshin@vniizhbeton.ru)

#### V. Zaruba

Moscow State University of Architecture and Civil Engineering, Moscow  
Master student  
E-mail: [zarubavm@mail.ru](mailto:zarubavm@mail.ru)

#### G. Lapshin

Moscow Capital overhaul Fund, Moscow  
Leader specialist  
E-mail: [isuminka@rambler.ru](mailto:isuminka@rambler.ru)

УДК 699.86

ГАГАРИН В.Г., ШИРОКОВ С.А.

### **РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ОСТЕКЛЕННОЙ ЛОДЖИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭФФЕКТА**

*В настоящей статье описаны особенности формирования температуры воздуха в пространствах остекленных балконов и лоджий при стационарных условиях теплообмена. Приведены две методики расчета данной температуры при средней температуре воздуха отопительно-го периода. Одна методика основана на решении уравнения баланса трансмиссионных теплопотерь на лоджию. Вторая методика основана на решении уравнения теплового баланса воздуха с учетом воздухообмена. Предложен метод учета энергосберегающего эффекта за счет остекления лоджии. Приведен пример расчета температуры воздуха на остекленной лоджии обоими способами. Получено, что температура воздуха при втором способе расчета ниже, чем при первом. Оценена величина энергосберегающего эффекта от выполнения остекления рассмотренной лоджии. При расчете вторым способом она ниже, чем при расчете первым. Вторую методику расчета целесообразно использовать при развитии метода расчета потребления энергии на отопление и вентиляцию жилых зданий для определения их класса энергосбережения.*

**Ключевые слова:** тепловая защита зданий; остекление балконов и лоджий; энергосбережение; воздухообмен; тепловой баланс помещений.

**Введение.** Известно, что остекление балконов и лоджий повышает комфортность жилища [1, 2], способствует защите от шума, снижает проникновение пыли, помогает в решении бытовых проблем жителей [3]. Остекление балконов и лоджий является также энергосберегающим мероприятием [4]. Методы остекления и ограждающие конструкции балконов и лоджий представлены в ГОСТ 56926-2016\*. При остеклении лоджий образуется замкнутое воздушное пространство, температура в котором формируется в результате наружных климатических воздействий и температурного режима внутреннего воздуха. Воздух в этом пространстве участвует в воздухообмене как с наружной средой, так и со средой помещения. При расчетах потребления энергии зданием в [5] и других нормативных документах влияние остекленной лоджии на тепловой режим помещения учитывается путем расчета температуры воздуха на лоджии. При этом решается уравнение теплового баланса относительно этой температуры, с учетом теплообмена воздуха на лоджии с наружной и внутренней средой помещения. Полученное таким образом значение температуры воздуха лоджии учитывается в дальнейших расчетах трансмиссионных тепловых потерь помещения, для соответствующих наружных ограждающих конструкций. При таких расчетах не учитывается воздухообмен остекленных лоджий и некоторые другие обстоятельства. Настоящая статья посвящена описанию метода расчета температуры в остекленной лоджии с учетом воздухообмена и оценке энергосберегающего эффекта остекления.

**Методика расчета температуры остекленной лоджии из уравнения баланса трансмиссионных теплопотерь через ограждения помещения и лоджии (Методика СП «Проектирование тепловой защиты»).** Методика основана на расчете температуры воздуха внутри остекленной лоджии путем составления и решения уравнения теплового баланса остекленной лоджии или балкона (далее – лоджии) в соответствии с [5]:

\* ГОСТ 56926-2016 Конструкции оконные и балконные различного функционального назначения для жилых зданий. Общие технические условия.

$$(t_{\text{в}} - t_{\text{лодж}}) \sum_{i=1}^n (A_i^+ / R_{o,i}^{\text{пр}+}) = (t_{\text{лодж}} - t_{\text{н}}) \sum_{j=1}^m (A_j^- / R_{o,j}^{\text{пр}-}), \quad (1)$$

где  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха помещения,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{н}}$  – расчетная температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{лодж}}$  – температура воздуха пространства остекленной лоджии,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_i^+$ ,  $R_{o,i}^{\text{пр}+}$  – соответственно площадь,  $\text{м}^2$ , и приведенное сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ,  $i$ -го участка ограждения между помещением здания и лоджией;

$n$  – число участков ограждений между помещением здания и лоджией;

$A_j^-$ ,  $R_{o,j}^{\text{пр}-}$  – соответственно площадь,  $\text{м}^2$ , и приведенное сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ,  $j$ -го участка ограждения между лоджией и наружным воздухом;

$m$  – число участков ограждений между лоджией и наружным воздухом.

Решение уравнение (1) при расчетной температуре наружного воздуха равной средней температуре отопительного периода  $t_{\text{н}} = t_{\text{от}}$ , приводит к расчетной формуле для вычисления температуры воздуха внутри остекленной лоджии:

$$t_{\text{лодж}} = \left[ t_{\text{в}} \sum_{i=1}^n (A_i^+ / R_{o,i}^{\text{пр}+}) + t_{\text{от}} \sum_{j=1}^m (A_j^- / R_{o,j}^{\text{пр}-}) \right] / \left[ \sum_{i=1}^n (A_i^+ / R_{o,i}^{\text{пр}+}) + \sum_{j=1}^m (A_j^- / R_{o,j}^{\text{пр}-}) \right] \quad (2)$$

Приведенная методика не учитывает воздухообмен на лоджии. В связи с необходимостью его учета предлагается следующая методика расчета.

**Методика расчета температуры остекленной лоджии из уравнения теплового баланса воздуха остекленной лоджии с учетом воздухообмена на лоджии.** Уравнение теплового баланса воздуха на остекленной лоджии записывается в виде:

$$(c_{\text{возд.}} \gamma_{\text{возд.}}) L (t_{\text{лодж}} - t_{\text{н}}) = \sum_i \alpha_{k,i} \cdot (\tau_i - t_{\text{лодж}}) A_i, \quad (3)$$

где:  $i$  – номер поверхности конструкции, ограждающей лоджию;

$c_{\text{возд}}$  – удельная теплоемкость воздуха, равная  $1006 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$\gamma_{\text{возд}}$  – плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , определяемая по формуле:

$$\gamma_{\text{возд}} = \frac{353}{273 + t_{\text{н}}} \quad (4)$$

$L$  – объем воздуха, поступающий в пространство лоджии в единицу времени,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\alpha_{k,i}$  – коэффициент конвективного теплообмена  $i$ -ой поверхности, ограждающей пространство лоджии,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$\tau_i$  – температура  $i$ -й поверхности, ограждающей пространство лоджии,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{лодж}}$  – то же, что и в формуле (1);

$A_i$  – площадь  $i$ -ой поверхности, ограждающей пространство лоджии.

Температура воздуха на лоджии,  $t_{\text{лодж}}$ , определяется из уравнения (3). Однако уравнение (3) содержит, в качестве неизвестных, температуры поверхностей ограждающих конструкций лоджии. Поэтому все эти величины должны быть определены из уравнения (3) одновременно с учетом других уравнений связывающих эти неизвестные.

Температуры поверхностей, ограждающих пространство лоджии, определяются через температуру воздуха на лоджии по следующим формулам:

- для поверхностей, ограждающих конструкций помещений, выходящих на лоджию:

$$\tau_i = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{лодж}}}{R_{o,i}^{\text{пр}}} R_{1i} \quad (5)$$

- для поверхностей ограждений лоджии, отделяющих ее от наружной среды:

$$\tau_i = t_{\text{н}} - \frac{t_{\text{н}} - t_{\text{лодж}}}{R_{o,i}^{\text{пр}}} R_{2i} \quad (6)$$

где  $R_{o,i}^{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче  $i$ -ой ограждающей конструкции, отделяющей пространство лоджии от помещения или наружной среды, ( $\text{м}^2 \text{°C}$ )/Вт;  $R_{l_i}$  – часть приведенного сопротивления теплопередаче  $i$ -ой ограждающей конструкции помещений, выходящих на лоджию, без сопротивления теплоотдачи у поверхности, обращенной в пространство лоджии, ( $\text{м}^2 \text{°C}$ )/Вт, определяемая по формуле:

$$R_{l_i} = R_{o,i}^{\text{пр}} - 1/\alpha_{\text{лодж}i} \quad (7)$$

$R_{2i}$  – часть приведенного сопротивления теплопередаче  $i$ -ой ограждающей конструкции лоджии отделяющих ее от наружной среды, без сопротивления теплоотдачи у поверхности, обращенной в пространство лоджии, ( $\text{м}^2 \text{°C}$ )/Вт, определяемая по формуле:

$$R_{2i} = R_{o,i}^{\text{пр}} - 1/\alpha_{\text{лодж}i}, \quad (8)$$

где  $\alpha_{\text{лодж}i}$  – коэффициент теплообмена поверхности  $i$ -го ограждения на лоджии, Вт/( $\text{м}^2 \text{°C}$ );

При этом приведенное сопротивление теплопередаче соответствующей ограждающей конструкции определяется по приложению Е [6]:

После введения обозначений  $b_{1i} = R_{l_i} / R_{o,i}^{\text{пр}}$ ,  $b_{2i} = R_{2i} / R_{o,i}^{\text{пр}}$ , формулы (5) и (6) принимают соответственно вид:

- для поверхностей ограждающих конструкций помещений, выходящих на лоджию:

$$\tau_i = t_e - (t_e - t_{\text{лодж}i})b_{1i} \quad (9)$$

- для поверхностей ограждений лоджии, отделяющих ее от наружной среды:

$$\tau_i = t_h - (t_h - t_{\text{лодж}i})b_{2i} \quad (10)$$

Коэффициенты конвективного теплообмена у внутренних поверхностей,  $\alpha_{ki}$ , определяются по формуле, предложенной в [7]:

$$\alpha_{ki} = 1,66 \sqrt[3]{|t_{\text{лодж}i} - \tau_i|} \quad (11)$$

Коэффициент лучистого теплообмена  $i$ -ой поверхности с  $j$ -ой поверхностью,  $\alpha_{ij}$ , определяются по формуле, приведенной в [8]:

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{\frac{1}{C_i} + \frac{1}{C_j} - \frac{1}{C_0}} \cdot \frac{\left[ \frac{\tau_i + 273}{100} \right]^4 - \left[ \frac{\tau_j + 273}{100} \right]^4}{\tau_i - \tau_j} \quad (12)$$

где  $C_i$ ,  $C_j$ ,  $C_0$  – коэффициенты излучения  $i$ -ой и  $j$ -ой поверхностей и абсолютно черного тела соответственно, Вт/( $\text{м}^2 \text{°C}^4$ ).

Коэффициент излучения поверхности ограждения, состоящего из нескольких поверхностей, определяется по формуле:

$$C = \frac{\sum A_i C_i}{\sum A_i} \quad (13)$$

Коэффициент теплообмена поверхности  $i$ -го ограждения на лоджии,  $\alpha_{\text{лодж}i}$ , Вт/( $\text{м}^2 \text{°C}^4$ ), определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{лодж}i} = \alpha_{ii} + \alpha_{ki} \quad (14)$$

В предлагаемом методе расчета принимается, что температуры наружного и внутреннего воздуха и уровень воздухообмена на лоджии неизменны во времени. Ограждающими конструкциями помещений, выходящими на лоджию являются стена и окна (в том числе балконная дверь). Ограждениями лоджии, отделяющими ее от наружной среды являются остекление, стенка ограждения, боковые стены и перекрытия.

Подстановка (9) и (10) в (3) и решение полученного уравнения относительно  $t_{\text{лодж}}$  приводит к формуле:

$$t_{\text{лодж}} = \frac{\left[ L \cdot c_{\text{возд}} \gamma_{\text{возд}} + \sum_{\substack{\text{ограждения} \\ \text{лоджии}}} \alpha_{ki} (1 - b_{2i}) A_i \right] t_{\text{н}} + \left[ \sum_{\substack{\text{ограждения} \\ \text{помещений}}} \alpha_{ki} (1 - b_{1i}) A_i \right] t_{\text{в}}}{\left[ L \cdot c_{\text{возд}} \gamma_{\text{возд}} + \sum_{\text{все ограждения}} \alpha_{ki} (1 - b_i) A_i \right]} \quad (15)$$

Расчет температуры воздуха на лоджии выполняется итерационно в следующем порядке:

1. Определяются характеристики ограждений, т.е. значения параметров  $R_{1i}$ ,  $R_{2i}$ ,  $A_i$ ,  $C_i$ .
2. Назначаются значения  $t_{\text{лодж}}$  и  $\tau_i$ .
3. Рассчитываются значения коэффициентов теплообмена ограждений лоджии  $\alpha_{ki}$ ,  $\alpha_{ni}$ ,  $\alpha_{\text{лодж}i}$  по формулам (11) – (14).
4. Рассчитываются значения  $R^{\text{пр}}_{oi}$ ,  $b_{1i}$ ,  $b_{2i}$ .
5. Рассчитывается значение температуры воздуха на лоджии,  $t_{\text{лодж}}$  по формуле (15).
6. Рассчитываются значения температур поверхностей ограждений на лоджии  $\tau_i$  по формулам (9) и (10).
7. Сравниваются полученные значения  $t_{\text{лодж}}$  и  $\tau_i$  со значениями с которыми проводились расчеты начиная с п.3. Если расхождения превышают  $0,1$  °C, то расчет повторяется, начиная с п.3, при этом в качестве начальных используются полученные в п.5 и 6 значения  $t_{\text{лодж}}$  и  $\tau_i$ .

Расчет заканчивается если расхождения не превышают  $0,1$  °C.

**Определение энергосберегающего эффекта от остекления лоджии.** Найденная, по одной из указанных методик, температура воздуха на лоджии может быть использована при определении нормируемых значений сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций согласно п. 5.2 [6]. Для этого базовые значения требуемых сопротивлений теплопередаче стены  $R_{o,cm}^{\text{тр}}$  и окна  $R_{o,ок}^{\text{тр}}$ , выходящих на лоджию, найденные по табл. 3 [6] следует умножить на коэффициент  $n_t$ , вычисленный по формуле 5.3 [6], которая в данном случае будет иметь вид:

$$n_t = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{лодж}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{от}}} \quad (16)$$

где  $n_t$  – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающих конструкций здания по отношению к наружному воздуху для наружных стен и окон остекленной лоджии;

В результате такого пересчета нормируемые сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций могут быть снижены, что, в свою очередь, позволит снизить их стоимость.

Если нормируемые значения сопротивлений теплопередаче не поникаются, то можно оценить энергосберегающий эффект от остекления лоджии за счет повышения температуры воздуха на лоджии:

$$\Delta Q = 0,024(t_{\text{лодж}} - t_{\text{от}}) z_{\text{от}} \sum_{i=1}^n \left( A_i^+ / R_{o,i}^{\text{пр}+} \right) \quad (17)$$

где  $\Delta Q$  – экономия тепловой энергии обусловленная остеклением лоджии, кВт ч/год;

$z_{\text{от}}$  – продолжительность отопительного периода, сут/год.

**Пример расчетов температуры воздуха остекленной лоджии.** В качестве примера рассматривается расчет температуры воздуха на лоджии при выполнении остекления лоджии в многоквартирном здании в г. Москве. К лоджии примыкает комнаты квартиры площадью

12 м<sup>2</sup>, высотой 2,8 м. Лоджию и комнату разграничивает окно и дверь с площадью 2,25 м<sup>2</sup> и 1,8 м<sup>2</sup> соответственно.

Термическое сопротивление стены, разграничивающей лоджию и комнату, равно 2,0 (м<sup>2</sup> °C)/Вт; приведенное сопротивлением теплопередаче стены равно 2,15 (м<sup>2</sup> °C)/Вт. Тогда  $R_1=2,15-1/23=2,11$ (м<sup>2</sup> °C)/Вт. Площадь стены составляет  $A_1=4,35$  м<sup>2</sup>. Коэффициент излучения поверхности стеновой панели принимается равным 3,6 Вт/(м<sup>2</sup> °C) [8].

Для расчетов принято, что окно и балконная дверь, в стене соответствуют имеют сопротивление теплопередаче 0,54 (м<sup>2</sup> °C)/Вт. Суммарная площадь окон и двери составляет  $A_2=4,05$  м<sup>2</sup>. Величина  $R_1$  составляет  $R_1=0,54 - 1/23=0,50$  (м<sup>2</sup> °C)/Вт. Коэффициент излучения поверхности окон принимается равным 5,4 Вт/(м<sup>2</sup> °C) [8]. Коэффициент излучения поверхности ограждения, рассчитанный по формуле (12), составляет 4,13 Вт/(м<sup>2</sup> °C).

Ограждение лоджии ниже уровня остекления состоит из металлического каркаса, к которому с наружной стороны прикреплена плита минерита, а с внутренней – гипсокартонный лист. Площадь этого ограждения составляет  $A_3=3,9$  м<sup>2</sup>, а термическое сопротивление  $R_2=0,34$  (м<sup>2</sup> °C)/Вт. Коэффициент излучения поверхности этого ограждения принимается равным 4,7 Вт/(м<sup>2</sup> °C) [8].

Остекление лоджии имеет площадь  $A_4=4,5$  м<sup>2</sup>. Однослойное остекление имеет термическое сопротивление  $R_2=0,12$  (м<sup>2</sup> °C)/Вт. Коэффициент излучения поверхности остекления принимается равным 5,4 Вт/(м<sup>2</sup> °C) [8]. Средневзвешенное значение коэффициента излучения поверхности ограждений лоджии, определенное по формуле (13), составляет 4,76 Вт/(м<sup>2</sup> °C). Коэффициент излучения абсолютно черного тела принимается равным  $C_0=5,77$  Вт/(м<sup>2</sup> °C) [8].

Боковые ограждения лоджии и перекрытия в расчете не учитываются, т.к. они разделяют объемы воздуха с такой же температурой, как и на рассматриваемой лоджии.

Расчеты выполнялись для температуры наружного воздуха равной средней температуре наружного воздуха отопительного периода равной –3,1 °C.

**Расчеты выполнены по двум представленным в статье методикам.**

1. Расчет температуры воздуха на лоджии выполнен по методике расчета температуры из уравнения баланса трансмиссионных теплопотерь через ограждения помещения и лоджии, содержащейся в СП «Проектирование тепловой защиты» [5]. Значение температуры воздуха на лоджии,  $t_{лодж}$  рассчитано по формуле (2):

$$t_{лодж} = \frac{20 \cdot (4,35/2,15+4,05/0,54) - 3,1 \cdot (3,9/0,34+4,5/0,12)}{(4,35/2,15+4,05/0,54)+(3,9/0,34+4,5/0,12)} = 0,7^{\circ}\text{C}$$

В этом случае значение энергосберегающего эффекта от остекления лоджии рассчитанное по формуле (17), составляет для одной лоджии:

$$\Delta Q_1 = 0,024 \cdot (0,7 - (-3,1)) \cdot 205 \cdot (4,35/2,15+4,05/0,54) = 178 \text{ кВт ч/год.}$$

Этот эффект означает, что общее потребление тепловой энергии зданием на отопление и вентиляцию можно уменьшить на величину  $\Delta Q_1$  на каждую остекленную лоджию.

2. Выполнены также расчеты по представленной методике с учетом воздухообмена на лоджии.

Объем воздуха, поступающий в пространство лоджии в единицу времени рассчитывался из условия, что он должен быть равен требуемому объему воздуха, поступающему в примыкающие к лоджии комнаты, т.е. 3 м<sup>3</sup>/час на м<sup>2</sup> площади этих комнат. Поскольку этот объем равен  $12 \times 3 = 36$  м<sup>3</sup>/час, то ежесекундно через пространство лоджии проходит объем  $L=0,01$  м<sup>3</sup>/с.

Проведенные расчеты по итерационной методике показали, что потребовалось 4 итерации, для достижения расчетных значений. Результаты расчетов этих итераций приведены в таблице 1.

Из полученных результатов видно, что вычисленная температура воздуха на лоджии составила 0,2°С. Полученная температура меньше, чем при расчете по первой методике. Для этого значения температуры воздуха энергосберегающий эффект от остекления лоджии за счет повышения температуры воздуха на лоджии также вычисляется по формуле (17):

$$\Delta Q_2 = 0,024 \cdot (0,2 - (-3,1)) \cdot 205 \cdot (4,35/2,15+4,05/0,54) = 155 \text{ кВт ч/год.}$$

Получено, что  $\Delta Q_2 < \Delta Q_1$ , это объясняется более высокой рассчитанной температурой воздуха на лоджии. Что в свою очередь обусловлено учетом теплосодержания объема наружного воздуха, поступающего в пространство лоджии, во второй методике расчета. Вторая методика позволила учесть в расчете больше факторов, следовательно, провести расчет с большей точностью.

**Таблица 1 – Рассчитанные значения температуры воздуха и температур ограждений на остекленной лоджии. (Итерации)**

Номер итерации	Температура воздуха на лоджии $t_{\text{лодж}}$ , °C	Температуры на поверхностях ограждений на лоджии, °C			
		Стена помещений $\tau_1$	Окна из помещений, $\tau_2$	Ограждение лоджии, $\tau_3$	Остекление лоджии, $\tau_4$
Нач. значения	-3	-2,5	-1	-2,8	-2,9
1	0,22	2,10	5,63	-1,16	-1,43
2	0,22	1,82	4,98	-0,99	-1,20
3	0,18	1,82	5,03	-1,03	-1,22
4	0,20	1,83	5,03	-1,02	-1,22
5	0,19	1,82	5,03	-1,02	-1,22
6	0,19	1,83	5,03	-1,02	-1,22

**Заключение.** Представленные в настоящей статье методики и выполненные расчеты наглядно демонстрируют положительный эффект обустройства остекления балконов и лоджий как энергосберегающего мероприятия. Включение данных методик в методические документы для проектирования в рамках развития СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» позволит усовершенствовать расчеты потребления тепловой энергии зданием на отопление и вентиляцию и повысить точность расчетов влияния различных мероприятий на уровень энергосбережения возводимых и реконструируемых зданий [9, 10].

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ломов, А.А. Оптимизация микроклимата в жилых зданиях с лоджиями / А.А. Ломов, А.Н. Малов, Махмуд Харун, Махади Абу // Жилищное строительство. - 2007. - №11. - С. 12-13.
2. Стецкий, С.В. Эстетика гражданских зданий при использовании в них стационарных солнцезащитных средств для условий жаркого климата // Промышленное и гражданское строительство. - 2015. - № 7. - С. 76-80.
3. Трофимов, С.П. Остекление балконов и лоджий конструктивными элементами по стандарту // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2009. - № 24. - С. 161-164.
4. Анисимов, В.А. Реконструкция жилищного фонда: направления, требования, перспективы // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). - 2011. - Т.14. - № 2 (51). - С. 5-10.
5. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий. М. 2008. 140 С.
6. СП 50.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». – М.: Минрегион России. 2012. 96 С.
7. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика. - М.,1982. - 416 с.
8. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий: 5-е изд. – М., АВОК-ПРЕСС, 2006. 252 с.
9. 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. N 2. P. 79-87.
10. Gagarin V. G., Lushin K. I., Kozlov V. V., Neklyudov A. Yu. Path of optimized engineering of HVAC systems // Procedia Engineering., 2016, Volume 146. Pp. 103-111.

**Гагарин Владимир Геннадьевич**  
НИИСФ РААСН, г. Москва  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: gagarinvg@yandex.ru

**Широков Станислав Александрович**  
ФГБОУ ВПО «НИУ МГСУ», г. Москва  
Инженер  
E-mail: shirokovstas92@gmail.com

V. GAGARIN, S. SHIROKOV

## **CALCULATION OF AIR TEMPERATURE OF GLAZED LOGGES FOR DETERMINATION OF ENERGY-SAVING EFFECT**

*This article describes the features of the formation of air temperature in the spaces of glazed balconies and loggias for stationary conditions of heat exchange. There are two methods for calculating this temperature for an average air temperature of the heating period. One of these methods is based on the solution of the balance equation of the transmission heat transfers to the loggia. The second method is based on the solution of the heat balance equation with considering air exchange. There is method for calculating the energy-saving effect due to glazing of the loggia is proposed. An example is given of calculating the air temperature on a glass loggia both ways. It is obtained that the air temperature for the second method of calculation is lower than at the first. The value of energy-saving effect from the glazing of the loggia considered is estimated. When calculating the second method, it is lower than the first calculation. The second method of calculation is appropriate to use when developing a method for calculating energy consumption for heating and ventilation of residential buildings to determine their energy-saving class.*

**Keywords:** thermal performance of the building; glazing of balconies and loggias; energy saving; air exchange; heat balance of rooms.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Lomov, A.A. Optimizatsiya mikroklimata v zhilykh zdaniyakh s lodzhiyami / A.A. Lomov, A.N. Malov, Makhmud Kharun, Makhadi Abu // Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2007. - №11. - S. 12-13.
2. Stetskiy, S.V. Estetika grazhdanskikh zdaniy pri ispol'zovanii v nikh statcionarnykh solntsezashchitnykh sredstv dlya usloviya zharkogo klimata // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. - 2015. - № 7. - S. 76-80.
3. Trofimov, S.P. Ostekleniye balkonov i lodzhiy konstruktivnymi elementami po standartu // Aktu-al'nyye problemy lesnogo kompleksa. - 2009. - № 24. - S. 161-164.
4. Anisimov, V.A. Rekonstruktsiya zhilishchnogo fonda: napravleniya, trebovaniya, perspektivy // Trudy Novosibirskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta (Sibstrin). - 2011. - T.14. - № 2 (51). - S. 5-10.
5. SP 23-101-2004 Proyektirovaniye teplovoy zashchity zdaniy. M. 2008. 140 S.
6. SP 50.13330.2012. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003 «Teplovaya zashchita zdaniy». – M.: Minregion Rossii. 2012. 96 S.
7. Bogoslovskiy, V.N. Stroitel'naya teplofizika. - M.,1982. - 416 s.
8. Fokin, K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ogranichivayushchikh chastej zdaniy: 5-ye izd. – M., AVOK-PRESS, 2006. 252 s.
9. 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. N 2. P. 79-87.
10. Gagarin V. G., Lushin K. I., Kozlov V. V., Neklyudov A. Yu. Path of optimized engineering of HVAC systems // Procedia Engineering., 2016, Volume 146. Pp. 103-111.

#### **V. Gagarin**

Scientific and Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow  
Doctor of Techn. Sciences, professor  
E-mail: gagarinvg@yandex.ru

#### **S. Shirokov**

Moscow State University of Architecture and Civil Engineering, Moscow  
Engineer  
E-mail: shirokovstas92@gmail.com

УДК 699.86

ГАГАРИНА О.Г., КОРКИНА Е.В.

## **ОЦЕНКА ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ ЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ**

*Для расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций и помещений зданий предложен частотный метод численного компьютерного анализа, который распространен на область тепловых процессов в ограждениях и помещениях зданий. Использована электро-тепловая аналогия. Конструкция или здание представляется электрической схемой, расчет которой проведен в частотной области с помощью автоматизированных программ анализа электрических схем. Амплитудно-частотная характеристика показывает зависимости температур на внутренней поверхности ограждения от температуры наружного воздуха. Фазо-частотная характеристика определяет временную задержку колебаний внутренних температур относительно колебаний наружных температур. В результате находятся параметры теплоустойчивости (коэффициента затухания и запаздывания колебаний температур системы) от периода гармонических воздействий. В качестве исследуемых величин могут быть выбраны любые параметры конструкций и теплотехнических свойств материалов. Метод позволяет получать результаты анализа тепловой системы при двух и более гармонических воздействиях на нее, имеющих, в общем случае, различные амплитуды и фазовые сдвиги друг относительно друга. Приведены примеры расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций и помещений зданий, которые позволили получить практически значимые результаты.*

**Ключевые слова:** теплоустойчивость, ограждающие конструкции, помещения зданий, электро-тепловая аналогия, автоматизированный расчет в частотной области.

Вопрос теплоустойчивости ограждающих конструкций в летних условиях был развит А.М. Шкловером [1, 2] и изложен в [3]. Примеры практического применения этой теории представлены в [4-9]. Таким образом задача расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций сохраняет свою актуальность. В работе [10] было показано, что электротепловая аналогия позволяет перейти от тепловой модели исследуемого объекта к электрической модели и затем к компьютерному анализу последней при помощи автоматизированных программ анализа электрических схем (АПАЭС). Применение АПАЭС позволяет исключить громоздкую процедуру составления уравнений, описывающих исследуемую систему, и вместе с тем провести анализ с высокой точностью в стационарных и нестационарных режимах. Результаты представляются в удобной форме в виде таблиц и/или графических зависимостей.

В [10] таким способом был дан анализ тепловых систем в стационарном режиме и во временной области для нестационарного режима. В настоящей работе подобный подход распространяется на частотную область на примерах анализа принципиально нестационарных процессов, характеризующих теплоустойчивость ограждений и помещений зданий. Другими словами, предлагается частотный метод исследования теплоустойчивости, где под частотой понимается величина, обратная периоду колебаний тепловых воздействий.

Этапы расчета частотным методом выглядят следующим образом:

1. Создание нестационарной модели тепловой системы.
2. Определение теплофизических параметров элементов системы, в том числе и параметров тепловых воздействий.
3. Разработка электрической модели - аналога тепловой системы. Переход от тепловых параметров к электрическим, замена тепловых воздействий электрическими источниками гармонических колебаний.
4. Расчет амплитудо- и фазо-частотных характеристик (АЧХ и ФЧХ) полученной электрической схемы с помощью АПАЭС. Переход от электрических параметров и характеристик к тепловым.
5. Анализ АЧХ и ФЧХ. Определение по ним зависимостей параметров теплоустойчивости (коэффициента затухания и запаздывания колебаний температур системы) от периода гармонических воздействий.

Ниже приведены результаты исследования теплоустойчивости ограждений и помещений частотным методом.

1. Сравнение различных конструкций и материалов ограждений путем расчета характеристик и параметров теплоустойчивости.

Электротепловая модель ограждения представлялась *T*-образными *RC*-цепочками, со-противлением теплоотдачи ограждения с наружным воздухом  $R_h=1/\alpha_h$  и источником синусоидального теплового воздействия. Частотный диапазон соответствовал изменению периода воздействия от одних до 32-х суток.

С помощью АПАЭС рассчитаны:

- АЧХ: отношение амплитуд  $\xi$  температуры на внутренней поверхности ограждения  $\tau_B$  и температуры наружного воздуха  $T_H$ , выраженное в процентах.

- ФЧХ: временная задержка  $\varepsilon$  колебаний  $\tau_B$  относительно  $T_H$ , выраженная в угловых градусах.

Результаты сведены в табл.1. Данные таблицы позволяют заключить:

- Теплоустойчивость рассмотренных конструкций настолько велика, что период колебаний внешней температуры, меньший, чем 5 суток, оказывает ничтожное влияние на температуру внутренней поверхности ограждения.

- Теплоустойчивость однослойных конструкций, независимо от материала их исполнения, тем выше, чем больше произведение термического сопротивления на теплоемкость одинакового кубика материала.

- Теплоустойчивость многослойных конструкций коррелируется с произведением термического сопротивления теплоизоляционного слоя на теплоемкость несущего элемента конструкции.

- При одинаковом термическом сопротивлении теплоустойчивость многослойной конструкции хуже однослойной. Это особенно заметно при малом периоде тепловых воздействий.

2. Расчет характеристик теплоустойчивости помещений.

Исследуемое помещение имеет объем  $V_P = 4,5 \times 3 \times 6 \text{ м}^3$ , окно площадью  $F_{ok} = 3,4 \text{ м}^2$ , внутренние железобетонные перегородки и перекрытия толщиной 0,12 и 0,25 м соответственно.

Расчет проводился для двух вариантов наружного ограждения:

а) однослойное ограждение - кладка из глиняного обыкновенного кирпича  $\delta=1\text{м}$   $\gamma=1800\text{кг}/\text{м}^3$   $\lambda=0,81\text{Вт}/(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})$ ;

б) трехслойное ограждение - железобетон-минвата-железобетон  $\delta=0,06\text{м}-0,15\text{м}-0,12\text{м}$   $\gamma=2500\text{кг}/\text{м}^3-100\text{кг}/\text{м}^3-2500\text{кг}/\text{м}^3$   $\lambda=2,04\text{ Вт}/(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})-0,07\text{Вт}/(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})-2,04\text{ Вт}/(\text{м}\cdot{}^\circ\text{C})$ .

Для исследования влияния светопрозрачной части наружного ограждения (окна) были рассчитаны варианты как с окном, так и без окна, т.е. с глухим наружным ограждением. Модель помещения рассматривалась без учета и с учетом воздухообмена кратностью  $m=1$ .

В электрической схеме уравнение теплопередачи реализуется через *RC*-цепочки, лучисто-конвективный теплообмен и воздухообмен - через сопротивления  $R$ , теплоемкость воздуха помещения - через электроемкость  $C$ , тепло-

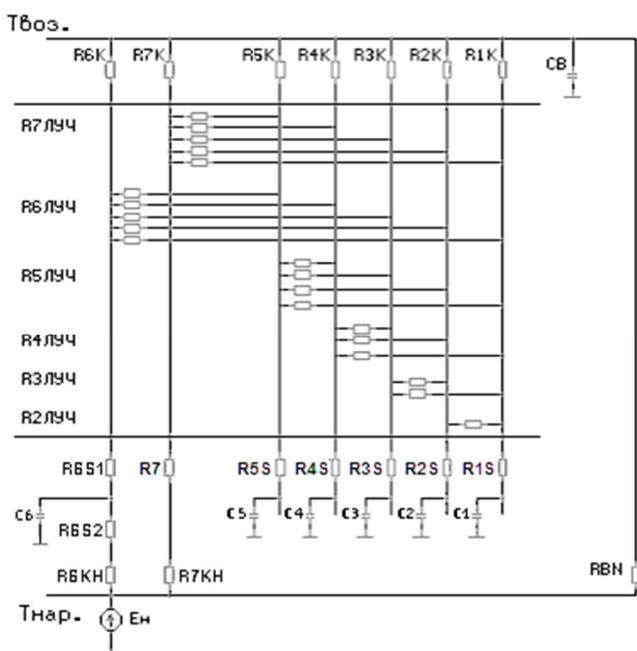


Рисунок 1 - Электрическая схема модели помещения

вые воздействия наружной среды - через источник напряжения. Электрическая схема модели помещения представлена на рисунке 1.

Элементы схемы рисунка 1 представляют:

$C_B$  - теплоемкость воздуха помещения;

$E_H$  - источник температурных воздействий внешней среды;

$C1 \div C6, R1S \div R6S$  - теплоемкости и термические сопротивления ограждений;

$R7$  - термическое сопротивление окна;

$R1K \div R7K$  - конвективные сопротивления ограждений и окна с воздухом помещения;

$R2ЛУЧ \div R7ЛУЧ$  - лучистые сопротивления ограждений и окна между собой;

$R6KH, R7KH$  - сопротивление теплоотдачи ограждения и окна с наружным воздухом;

$RBN$  - сопротивление, моделирующее воздухообмен помещения с наружным воздухом.

Следует отметить, что на рис.1 внутренние и наружное ограждения представлены одним  $T$ -образным  $RC$ -звеном, хотя при расчетах использовались цепочки из  $RC$ -звеньев, для определения числа которых был выработан специальный критерий, обсуждение его выходит за рамки настоящей работы.

**Таблица 1 - Результаты расчетов теплоустойчивости ограждений**

Вид ограждения	Отношение амплитуд $\tau_B/T_H = \xi [\%]$ (числитель), временная задержка $\varepsilon$ температуры $\tau_B$ относительно $T_H$ [углов. град.] (знаменатель) при периоде колебаний теплового воздей- ствия [сутки]					
	1 II	2 III	4 IV	8 V	16 VI	32 VII
I						
кладка из глиняного обыкновенного кир- пича $\delta [m] = 1,0; \gamma [kg/m^3] = 1800;$ $\lambda [Bm/(m \cdot {}^\circ C)] = 0,81$	<u>0,03</u> -487	<u>0,38</u> -349	<u>2,45</u> -249	<u>8,93</u> -176	<u>22,4</u> -126	<u>44,4</u> -88
кладка из керамического пустотного кир- пича $\delta [m] = 1,0; \gamma [kg/m^3] = 1000;$ $\lambda [Bm/(m \cdot {}^\circ C)] = 0,47$	<u>0,02</u> -514	<u>0,27</u> -368	<u>1,93</u> -262	<u>7,58</u> -186	<u>19,9</u> -132	<u>40,6</u> -94
кладка из блоков ячеистого бетона $\delta [m] = 1,0; \gamma [kg/m^3] = 1000;$ $\lambda [Bm/(m \cdot {}^\circ C)] = 0,47$	<u>0,04</u> -462	<u>0,55</u> -331	<u>3,16</u> -235	<u>10,7</u> -167	<u>25,5</u> -119	<u>49,0</u> -83
кладка из блоков ячеистого бетона $\delta [m] = 1,0; \gamma [kg/m^3] = 600;$ $\lambda [Bm/(m \cdot {}^\circ C)] = 0,26$	<u>0,03</u> -477	<u>0,45</u> -341	<u>2,76</u> -243	<u>9,72</u> -172	<u>23,8</u> -123	<u>46,5</u> -86
трехслойное ограждение железобетон- пенопласт-железобетон $\delta [m] = 0,1-0,2-0,1;$ $\gamma [kg/m^3] = 2500-100-2500;$ $\lambda [Bm/(m \cdot {}^\circ C)] = 2,04-0,052-2,04$	<u>0,85</u> -207	<u>2,60</u> -153	<u>5,98</u> -120	<u>12,4</u> -100	<u>24,4</u> -84	<u>45,0</u> -68
трехслойное ограждение железобетон- минвата-железобетон $\delta [m] = 0,06-0,15-0,12;$ $\gamma [kg/m^3] = 2500-100-2500;$ $\lambda [Bm/(m \cdot {}^\circ C)] = 2,04-0,07-2,04$	<u>2,05</u> -145	<u>4,57</u> -116	<u>9,39</u> -99	<u>18,7</u> -87	<u>35,6</u> -73	<u>60,6</u> -55
трехслойное ограждение железобетон- минвата-железобетон $\delta [m] = 0,06-0,15-0,12;$ $\gamma [kg/m^3] = 2500-50-2500;$ $\lambda [Bm/(m \cdot {}^\circ C)] = 2,04-0,06-2,04$	<u>1,81</u> -136	<u>3,99</u> -112	<u>8,17</u> -98	<u>16,3</u> -87	<u>31,4</u> -75	<u>55,2</u> -58

С помощью АПАЭС были рассчитаны АЧХ и ФЧХ температуры внутренней поверхности ограждения  $\tau_B$  (соответственно  $\xi_{ог}$  и  $\varepsilon_{ог}$ ) и температуры воздуха в помещении  $T_B$  (соответственно  $\xi_B$  и  $\varepsilon_B$ ). Частотный диапазон соответствовал изменению периода воздействия от одних до 32-х суток. Результаты расчетов представлены в таблицах 2 и 3.

**Таблица 2 - Результаты расчетов теплоустойчивости помещений.**  
**Амплитудные характеристики**

Вид наружного ограждения и учитывающие факторы	Отношение амплитуд $\tau_e / T_h = \xi_{ог} [\%]$ (числитель), отношение амплитуд $T_e / T_h = \xi_B [\%]$ (знаменатель) при периоде колебаний теплового воздействия [сутки]					
	1	2	4	8	16	32
I	II	III	IV	V	VI	VII
однослоиное ограждение с окном, без воздухообмена	<u>0,37</u> 1,17	<u>0,63</u> 1,52	<u>0,83</u> 2,09	<u>4,75</u> 3,06	<u>12,0</u> 8,28	<u>24,5</u> 21,4
однослоиное ограждение без окна, без воздухообмена	<u>0,02</u> 0,00	<u>0,20</u> 0,04	<u>1,04</u> 0,30	<u>3,18</u> 1,51	<u>7,29</u> 5,27	<u>15,0</u> 13,5
однослоиное ограждение с окном, воздухообмен кратностью $m=1$	<u>2,15</u> 9,13	<u>3,39</u> 10,1	<u>5,17</u> 12,2	<u>12,6</u> 17,2	<u>28,5</u> 29,4	<u>53,0</u> 52,6
однослоиное ограждение без окна, воздухообмен кратностью $m=1$	<u>1,81</u> 8,04	<u>2,76</u> 8,71	<u>3,81</u> 10,2	<u>9,72</u> 13,2	<u>23,3</u> 22,7	<u>45,6</u> 44,3
трехслойное ограждение с окном, без воздухообмена	<u>1,87</u> 1,06	<u>3,73</u> 1,59	<u>5,69</u> 2,94	<u>8,01</u> 5,75	<u>12,8</u> 11,4	<u>23,0</u> 22,3
трехслойное ограждение без окна, без воздухообмена	<u>1,63</u> 0,25	<u>3,07</u> 0,60	<u>4,40</u> 1,28	<u>5,43</u> 2,59	<u>7,17</u> 5,18	<u>11,5</u> 10,3
трехслойное ограждение с окном, воздухообмен кратностью $m=1$	<u>2,96</u> 8,91	<u>6,49</u> 9,80	<u>11,3</u> 12,4	<u>19,1</u> 19,4	<u>34,0</u> 34,1	<u>57,8</u> 57,8
трехслойное ограждение без окна, воздухообмен кратностью $m=1$	<u>2,69</u> 7,76	<u>5,81</u> 8,39	<u>9,78</u> 10,5	<u>16,0</u> 16,0	<u>28,4</u> 28,4	<u>49,9</u> 49,9

**Таблица 3 - Результаты расчетов теплоустойчивости помещений.**  
**Фазовые характеристики**

Вид наружного ограждения и учитывающие факторы	Временная задержка $\varepsilon_{ог}$ температуры $\tau_e$ относительно $T_h$ , [углов. град.] (числитель). Временная задержка $\varepsilon_B$ температуры $T_e$ относительно $T_h$ , [углов. град.] (знаменатель). При периоде колебаний теплового воздействия [сутки]					
	1	2	4	8	16	32
I	II	III	IV	V	VI	VII
однослоиное ограждение с окном, без воздухообмена	<u>-72</u> -28	<u>-64</u> -42	<u>-136</u> -53	<u>-126</u> -79	<u>-103</u> -99	<u>-85</u> -90
однослоиное ограждение без окна, без воздухообмена	<u>-471</u> -496	<u>-331</u> -368	<u>-231</u> -278	<u>-165</u> -212	<u>-125</u> -162	<u>-101</u> -123
однослоиное ограждение с окном, воздухообмен кратностью $m=1$	<u>-54</u> -14	<u>-61</u> -23	<u>-78</u> -35	<u>-90</u> -49	<u>-79</u> -57	<u>-61</u> -51
однослоиное ограждение без окна, воздухообмен кратностью $m=1$	<u>-51</u> -12	<u>-57</u> -20	<u>-76</u> -31	<u>-94</u> -46	<u>-85</u> -62	<u>-68</u> -58
трехслойное ограждение с окном, без воздухообмена	<u>-122</u> -36	<u>-88</u> -59	<u>-68</u> -73	<u>-63</u> -79	<u>-67</u> -80	<u>-68</u> -75
трехслойное ограждение без окна, без воздухообмена	<u>-127</u> -153	<u>-87</u> -124	<u>-60</u> -107	<u>-50</u> -97	<u>-55</u> -91	<u>-64</u> -86
трехслойное ограждение с окном, воздухообмен кратностью $m=1$	<u>-102</u> -15	<u>-85</u> -25	<u>-74</u> -40	<u>-70</u> -53	<u>-65</u> -57	<u>-52</u> -48
трехслойное ограждение без окна, воздухообмен кратностью $m=1$	<u>-103</u> -13	<u>-84</u> -24	<u>-73</u> -39	<u>-70</u> -54	<u>-67</u> -59	<u>-56</u> -53

Данные таблиц 2 и 3 позволяют заключить:

- В глухих помещениях (без окна и воздухообмена) отношение амплитуд  $\xi_{ог}$  и  $\xi_B$  меньше при однослоиной конструкции наружного ограждения, если период тепловых колебаний  $T_h$  не превышает 16 суток. Для больших периодов наблюдается обратная картина. Временные задержки  $\varepsilon_{ог}$  и  $\varepsilon_B$  больше в помещениях с однослоиной конструкцией ограждения при любом периоде тепловых колебаний  $T_h$ .

- Наличие окна и особенно воздухообмена существенно снижает теплоустойчивость помещения как с однослоиной, так и с трехслойной конструкцией наружного ограждения.

### Выводы

1. Предлагаемый в настоящей работе частотный метод является распространением в частотную область численного компьютерного анализа тепловых процессов в ограждениях и помещениях зданий.
2. Поскольку частотный метод предполагает применение АПАЭС, то сохраняются все преимущества такого подхода, в частности, удобство и быстрота расчетов с представлением результатов в удобной форме.
3. Частотный метод позволяет получить температурные характеристики во многих точках сложной тепловой системы и во всем диапазоне изменений периодов тепловых воздействий всего за один расчет.
4. Не требуется создания специальной электрической модели системы, так как используется та же модель, что и для анализа во временной области.
5. В качестве исследуемой величины могут быть выбраны любые параметры конструкций и теплотехнических свойств материалов.
6. Частотный метод позволяет очень просто получить результаты анализа тепловой системы при двух и более гармонических воздействиях на нее, имеющих, в общем случае, различные амплитуды и фазовые сдвиги друг относительно друга.
7. Примеры применения частотного метода к анализу теплоустойчивости, частично изложенные в настоящей работе, дали ряд ценных практических результатов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шкловер, А.М. Метод расчета однослойных и многослойных ограждающих конструкций зданий на теплоустойчивость. – М.: Издательство Академии Архитектуры СССР, 1945. – 80 С.
2. Шкловер, А.М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 160 С.
3. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). – М.: Высшая школа, 1982. – 414 С.
4. Кувшинов, Ю.Я. Теплоустойчивость производственных сельскохозяйственных зданий. / Ю.Я. Кувшинов, М.В. Бодров // Вестник МГСУ, 2010. – № 3. – С. 152-155.
5. Кочев А.Г. Исследование задач теплоустойчивости ограждающих конструкций православных храмов. / А.Г. Кочев, А.С. Москава, Е.А. Кочева, А.А. Мартынов // Современные научноемкие технологии, 2015. – № 8-10. – С. 36-40.
6. Малявина Е.Г. Расчет темпа остывания помещения после отключения теплоснабжения. / Е.Г. Малявина // Промышленное и гражданское строительство, 2015. – № 2. – С. 55-58.
7. Малявина Е.Г. Влияние различных факторов на темп остывания помещения после отключения теплоснабжения. / Е.Г. Малявина, А.В. Цыганков // Известия высших учебных заведений. Строительство, 2015. – № 1 (673). – С. 53-59.
8. Якубов Н.Х. Учет местных климатических факторов при расчете теплоустойчивости ограждающих конструкций. / Н.Х. Якубов, А. Гиясов // Вестник Таджикского технического университета, 2008. – Т. 1. – № 1-1. – С. 74-77.
9. Соловьев А.К. Энергоэффективные жилые здания в климатических условиях северного Китая / А.К. Соловьев, В. Лу // Вестник МГСУ, 2010. – № 3. – С. 10-15.
10. Гагарина О.Г., Могутов В.А. Инженерная методика расчета тепловых процессов в ограждающих конструкциях и в зданиях с использованием автоматизированных программ анализа электрических схем // Четвертый съезд ассоциации инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизики (АБОК). Материалы съезда – М., 1995. – С. 70-77.

#### Гагарина Ольга Геннадьевна

Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт, г.Москва  
Начальник управления аспирантуры и докторантур  
E-mail: GagarinaOG@mpei.ru

#### Коркина Елена Владимировна

ФГБУ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН г. Москва  
К.т.н., с.н.с.  
E-mail: [Elena.v.Korkina@gmail.com](mailto:Elena.v.Korkina@gmail.com)

O. GAGARINA, E. KORKINA

## **ESTIMATION OF HEAT STABILITY OF ENCLOSING STRUCTURES AND ROOMS OF BUILDINGS BY FREQUENCY METHOD**

*The frequency method of numerical computer analysis is proposed to calculate the heat stability of enclosing structures and buildings. The method is extended to the field of thermal processes in enclosing structures and rooms of buildings. Electro-thermal analogy is used. The structure or building is represented by an electrical circuit, the calculation of which is carried out in the frequency domain by means of automated programs for the analysis of electrical circuits. The amplitude-frequency characteristic shows the temperature dependences on the inner surface of the fence against the outside air temperature. The phase-frequency characteristic determines the time delay of the oscillations of the internal temperatures with respect to the oscillations of the outside temperatures. As a result, the parameters of heat stability (damping coefficient and delay of temperature fluctuations of the system) are found from the period of harmonic influences. Any parameters of structures and thermo-technical properties of materials can be used as the investigated quantities. The method makes it possible to obtain the results of an analysis of a thermal system with two or more harmonic influences on it, which in general have different amplitudes and phase shifts relative to each other. Examples of calculation of heat stability of enclosing structures and rooms of buildings are given. Examples allowed to obtain practically significant results.*

**Key words:** heat stability, enclosing structures, rooms of buildings, electro-thermal analogy, automated calculation in the frequency domain.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Shklover A.M. Metod rascheta odnosloinykh i mnogosloinykh ogradzhdayushchikh konstruktsii zdani na teplooustoichivost'. – M.: Izdatel'stvo Akademii Arkhitektury SSSR, 1945. – 80 S.
2. Shklover A.M. Teploperedacha pri periodicheskikh teplovyykh vozdeistviyakh. – M.-L.: Gosenergoizdat, 1961. – 160 S.
3. Bogoslovskii V.N. Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh). – M.: Vysshaya shkola, 1982. – 414 S.
4. Kuvshinov Yu.Ya. Teplooustoichivost' proizvodstvennykh sel'skokhozyaistvennykh zdani. / Yu.Ya. Kuvshinov, M.V. Bodrov // Vestnik MGSU, 2010. – № 3. – S. 152-155.
5. Kochev A.G. Issledovanie zadach teplooustoichivosti ogradzhdayushchikh konstruktsii pravoslavnnykh khramov. / A.G. Kochev, A.S. Moskaeva, E.A. Kocheva, A.A. Martynov // Sovremennye naukoemkie tekhnologii, 2015. – № 8-10. – S. 36-40.
6. Malyavina E.G. Raschet tempa ostyvaniya pomeshcheniya posle otklyucheniya teplo-snabzheniya. / E.G. Malyavina // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2015. – № 2. – S. 55-58.
7. Malyavina E.G. Vliyanie razlichnykh faktorov na temp ostyvaniya pomeshcheniya posle otklyucheniya teplosnabzheniya. / E.G. Malyavina, A.V. Tsygankov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo, 2015. – № 1 (673). – S. 53-59.
8. Yakubov N.Kh. Uchet mestnykh klimaticeskikh faktorov pri raschete teplooustoi-chivosti ogradzhdayushchikh konstruktsii. / N.Kh. Yakubov, A. Giyasov // Vestnik Tadzhikskogo tekhnicheskogo universiteta, 2008. – T. 1. – № 1-1. – S. 74-77.
9. Solov'ev A.K. Energoeffektivnye zhilye zdaniya v klimaticeskikh usloviyakh severnogo Kitaya / A.K. Solov'ev, V. Lu // Vestnik MGSU, 2010. – № 3. – S. 10-15.
10. Gagarina O.G., Mogutov V.A. Inzhenernaya metodika rascheta teplovyykh protsessov v ogradzhdayushchikh konstruktsiyakh i v zdaniyakh s ispol'zovaniem avtomatizirovannykh program analiza elektricheskikh skhem // Chetvertyi s"ezd assotsiatii inzhenerov po otopleniyu, ventilyatsii, konditsionirovaniyu vozdukh, teplosnabzheniyu i stroitel'noi teplofiziki (AVOK). Materialy s"ezda – M., 1995. – S. 70-77.

### **O. Gagarina**

National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow  
Head of the Department of Postgraduate and Doctoral Studies  
E-mail: GagarinaOG@mpei.ru

### **E. Korkina**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow.  
Ph.D., senior researcher.  
E-mail: [Elena.v.Korkina@gmail.com](mailto:Elena.v.Korkina@gmail.com)

УДК 534.2

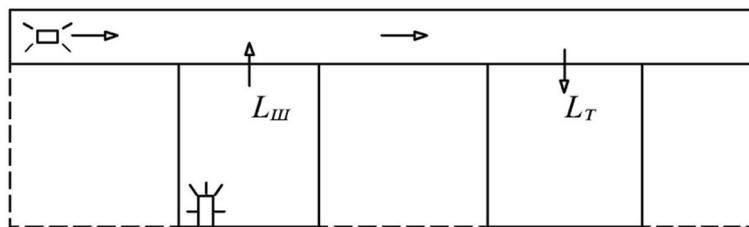
ГУСЕВ В.П., ЖОГОЛЕВА О.А., ЛЕДЕНЕВ В.И.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШУМОЗАЩИТЫ В ЗДАНИЯХ С ПОДВЕСНЫМИ ПОТОЛКАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*В общественных зданиях в последнее время широкое распространение имеют системы планировок, в которых акустическая связь между помещениями происходит через пространства общих подвесных потолков технологического назначения. В пространство потолков шум попадает из шумных помещений, проникая через конструкцию потолка, а также от воздуховодов, размещенных в пространстве потолков. Распространяясь в них, он затем зашумляет ниже лежащие помещения. Для снижения шума, распространяющегося в пространстве потолка, следует применять строительно-акустические меры. К ним относится повышение звукоизоляции конструкций и звукопоглощения потолка. При их проектировании необходимо производить расчеты шума до и после применения средств шумозащиты. Для расчета шума разработана методика, учитывающая характер распространения шума в пространствах потолков как в плоских помещениях. При этом воздуховод рассматривается как линейный источник шума. В методике также учитывается звуковая энергия, проникающая через потолок из «шумных» помещений. Приведен пример проектирования шумозащиты.*

**Ключевые слова:** потолок технологического назначения, расчет шума, звукоизоляция, распространение звуковой энергии.

В практике проектирования и строительства общественных зданий в последнее время широкое распространение имеют каркасные универсальные здания с пространствами, позволяющими выполнять в пределах всего этажа свободную планировку. Свободная планировка в таких зданиях обеспечивается за счет устройства легких, трансформируемых перегородок, которые доходят до устраиваемого потолка технологического назначения, не пересекая его. Данное конструктивное решение способствует легкой перепланировке при изменении функционального процесса на любой части здания. Пространства потолков в таких зданиях имеют конкретное технологическое назначения. В них располагаются различные коммуникации, в том числе и воздуховоды вентиляционных систем. Поэтому их размеры по высоте определяются параметрами размещаемого оборудования систем. Шум от транзитных воздуховодов и от других вентиляционных систем может свободно распространяться в пространстве потолков на большие расстояния и оказывать негативное воздействие на большое количество акустически связанных с ним помещений (см. рисунок 1) [1]



*Рисунок 1 – Принципиальная схема помещений и технологического потолка, имеющих общее звуковое поле*

От источников шума, располагаемых в пространствах потолка, образуются шумовые поля прямого звука и его отраженной составляющей. Расчет энергетических характеристик таких шумовых полей имеет ряд особенностей.

Чаще всего через пространство потолка проходят транзитные воздуховоды круглого или квадратного сечения с высотой, примерно равной высоте потолка. Излучение звуковой энергии от стенок воздуховода происходит по всей его длине. Таким образом, воздуховод можно считать линейным источником прямого звука [2]. Образующиеся прямая и отраженная энергии проникают через конструкцию потолка в смежные с ним помещения и создают в них повышенные уровни шума. Для снижения этого шума при проектировании зданий с техноло-

гическим потолком следует выполнять расчет требуемой звукоизоляции стенок воздуховода и конструкции потолка, а также звукопоглощающих облицовок для размещения их внутри пространства потолка. Для определения требуемых величин звукоизоляции и звукопоглощения необходимо производить последовательные расчеты энергетических характеристик шумовых полей, образующихся в пространстве потолка и в ниже расположенных помещениях.

*Общая методика расчетов шума и проектирования шумозащиты заключается в последовательном решении следующих задач:*

1. Производится расчет звуковой энергии, распространяющейся внутри воздуховода.
2. При известных значениях звукоизоляции стенок воздуховода определяется интенсивность, излучаемой поверхностями канала звуковой энергии.
3. Производится расчет уровней прямого звука, образующегося в пространстве потолка от воздуховода как от линейного источника.
4. Производится расчет уровней отраженного шума, образующегося в пространстве потолка от прямой энергии воздуховода и от энергии, проникающей в пространство потолка из ниже лежащих «шумных» помещений.
5. Определяются уровни шума в ниже лежащих помещениях, образующегося от звуковой энергии, проникающей в них из технологического пространства через конструкцию потолка.
6. Производится оценка соответствия уровней шума в помещениях нормативным требованиям. В случае превышения норм выполняется расчет требуемой звукоизоляции ограждений воздуховода и потолка и звукопоглощения, а затем производится проектирование звукоизолирующих и звукопоглощающих конструкций.

Как известно, методы расчета распространения шума в воздуховоде зависят от конструкции и его внутренних размеров [3]. Для воздуховодов малого поперечного сечения для расчета снижения мощности звуковой энергии по длине каналов используются инженерные методы, полученные на основе представлений о воздуховоде как о волноводе. Методика такого расчета приведена в справочном пособии [3]. Для расчета шума в крупных воздушных каналах систем вентиляции зданий нами разработан новый расчетный метод [4]. При разработке расчетного метода учтены особенности формирования и распространения отраженной звуковой энергии в воздуховоде. В частности учтено, что в воздуховоде отражение звука от его внутренних стенок имеет смешанный зеркально-диффузный характер, при котором часть энергии звуковых лучей отражается от ограждений зеркально, а другая часть диффузно рассеивается. При таком характере отражения используется комбинированная расчетная модель, в которой зеркальная и рассеянная составляющие отраженной энергии определяются раздельно. Зеркально отраженная энергия находится методом прослеживания лучей, а рассеянная энергия статистическим энергетическим методом. Суммарный уровень звукового давления в воздуховоде вычисляется как:

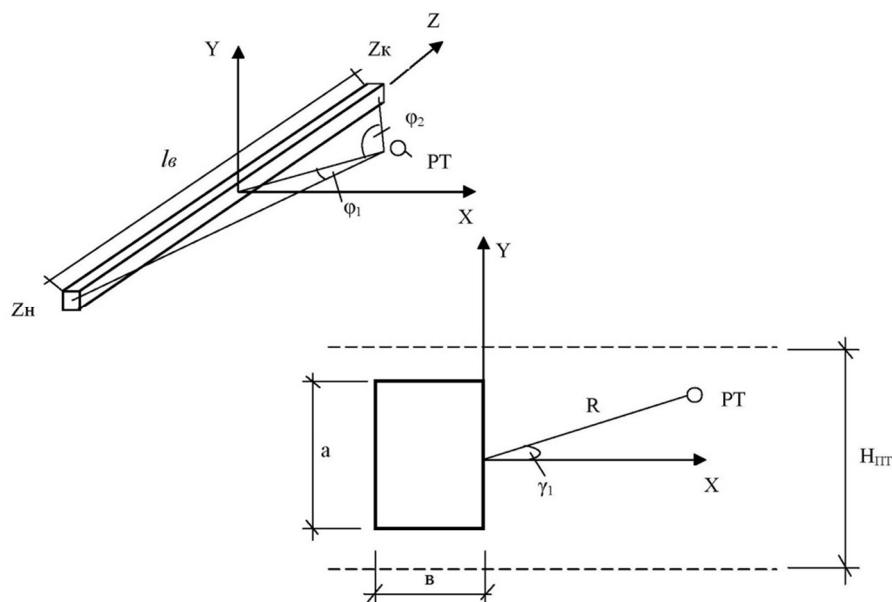
$$L_i = 10 \lg [c(\varepsilon_i^{\text{пр}} + \varepsilon_i^z + \varepsilon_i^d) / I_0], \quad (1)$$

где  $\varepsilon_i^{\text{пр}}$  - плотность прямой звуковой энергии в  $i$ -ой точке воздуховода;  $\varepsilon_i^z$  и  $\varepsilon_i^d$  - плотности, соответственно, зеркальной и рассеянной составляющих отраженной звуковой энергии. Подробно методика расчета шума в крупногабаритных каналах дана в работе [4].

На следующем этапе расчетов производится вычисление падающей на внутренние поверхности стенок воздуховода прямой, зеркальной и диффузно отраженной энергии и интенсивности ее излучения в пространство потолка. Подробно методика расчетов приведена в работе [5].

При известной погонной мощности излучения звуковой энергии стенкой воздуховода  $p$ , Вт/м производится *расчет прямого звука, распространяющегося в пространстве потолка от воздуховода*. Расчет производится в соответствии с методикой, изложенной в работе [5].

Ниже приведены расчетные формулы для определения плотности прямой звуковой энергии от участка воздуховода, схема которого приведена на рисунке 2. Для упрощения координатная плоскость XOY совмещена с расчетной точкой, когда  $z_T = 0$ .



*Рисунок 2 – Схема к расчету уровней прямого шума от прямоугольного воздуховода:*  
*H<sub>ПТ</sub> - высота пространства потолка*

В этом случае плотность энергии прямого звука в расчетной точке от участка воздуховода длиной  $l_e$  с координатами  $z_h$  и  $z_k$ , равной длине прохождения воздуховода в пространстве потолка, будет определяться как

$$\varepsilon_{np} = \frac{p'_{cp}}{\pi c R} \cos \alpha_1 (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1), \quad (2)$$

и уровень звукового давления в расчетной точке будет равен

$$L_{np} = 10 \lg \frac{p'_{cp}}{\pi R I_0} \cos \alpha_1 (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1). \quad (3)$$

В формулах (2) и (3)  $p'_{cp}$  - средняя погонная мощность звуковой энергии излучаемой стенкой канала, на участке  $l_e$ . Остальные обозначения даны на схеме рис. 2.

Сведения о прямом звуке, распространяющемся в пространстве потолка от воздуховода, позволяют выполнять решение дальнейших задач по расчету отраженного шума, возникающего в пространстве потолка, и шума, проникающего из него в ниже лежащие помещения.

*Расчет отраженного шума, образующегося в пространстве потолка от звуковой энергии, излучаемой воздуховодом и от звуковой энергии, приходящей через потолок из «шумного» помещения.*

Отраженное шумовое поле в пространстве потолка формируется за счет отражений прямого звука воздуховода от поверхностей потолка и за счет шума, проникающего в него из ниже лежащих «шумных» помещений. Характер отражения звука от всех поверхностей потолка принят диффузным.

Пространство потолка по геометрическим пропорциям относится к плоским помещениям, в которых согласно ранее выполненным исследованиям [6] плотность отраженной энергии по высоте пространства остается постоянной, но изменяется в плоскости. Отраженное поле в этом случае является двухмерным. Для него характерны признаки квазидиффузного поля, при котором не обеспечивается равенство отраженной звуковой энергии по пространству потолка, но соблюдается признак диффузности по изотропности прихода отраженной звуковой энергии в расчетные точки со всех возможных направлений [7].

В этом случае между плотностью потока  $\bar{q}$  и градиентом плотности отраженной звуковой энергии существует связь в виде

$$\bar{q} = -0.5 c l_{cp} q \text{grad} \varepsilon, \quad (4)$$

и плотность диффузно отраженной звуковой энергии при стационарном режиме работы источников шума описывается дифференциальным уравнением

$$0.5cl_{cp}\nabla^2\varepsilon - cm_o\varepsilon = 0, \quad (5)$$

где  $\nabla^2$  - оператор Лапласа;  $l_{cp}$  – средняя длина свободного пробега отраженных звуковых лучей;  $m_o$  – пространственный коэффициент затухания звука в воздухе.

Для решения уравнения (5) задаются граничные условия. В данном случае на границах потолка задаются плотности потоков отраженной звуковой энергии, которые включают в себя плотности потоков, возникающих при оттоке энергии за счет поглощения звука на ограждениях и притоке энергии за счет первых отражений прямого звука от источников шума, расположенных в пространстве потолка, а также энергии, проникающей в пространство потолка из помещений с источниками шума.

Граничные условия над «шумным» помещением имеют вид

$$q|_{ds} = \frac{-c\alpha_n}{2(2-\alpha_n)}\varepsilon|_{ds} + (1-\alpha)I_{np}|_{ds} + \left. \frac{I_0 10^{0.1(L_w - R_{nw})}}{2(2-\alpha_w)} \right|_{ds}, \quad (6)$$

где  $\alpha_n, \alpha_w$  - коэффициенты звукопоглощения элемента поверхностей потолка сверху и со стороны «шумного» помещения;  $I_{np}$  - интенсивность прямого звука, приходящего от воздуховода и падающего на элемент ограждения  $ds$ ;  $R_{nw}$  - звукоизоляция потолка над «шумным» помещением;  $L_w$  – уровень звукового давления в «шумном» помещении.

В граничных условиях над помещениями без собственных источников шума третий член в правой части формулы (6) отсутствует. Интенсивность  $I_{np}$  находится по рассмотренной выше методике расчета прямого звука от воздуховода с учетом угла падения прямого звука на элемент ограждения  $ds$ .

Уравнение (5) с граничными условиями (6) представляет собой математическую модель распределения в пространстве потолка отраженной звуковой энергии. Для ее реализации удобно применить численный статистический энергетический метод [7]. При его использовании все пространство потолка делится на элементарные параллелепипеды с высотой, равной высоте потолка. Для каждого элементарного объема составляется уравнение баланса отраженной звуковой энергии. В этом случае значения производных плотности заменяются приближенными значениями через разности значений плотности звуковой энергии в соседних элементарных объемах. Общее распределение плотности отраженной энергии находится из решения системы алгебраических уравнений.

Баланс отраженной энергии для каждого  $i,j$ -го элементарного параллелепипеда в общем виде записывается как

$$\sum_{n=1}^N q_n S_n + \sum_{m=1}^{6-N} q_m S_m - cm_o \varepsilon_{ij} V_{ij} = 0 \quad (7)$$

Здесь  $q_n$  - плотность потоков отраженной энергии между  $i, j$  – м объемом и соседними объемами, контактирующими с ним через поверхности  $S_n$ , их соединяющие;  $q_m$  - плотность потока звуковой энергии на  $m$ -ой поверхности  $i,j$ -го объема, являющейся поверхностью ограждения помещения с площадью  $S_m$ , рассчитывается с использованием выражения (6);  $N$  – количество объемов, контактирующих с  $i, j$  – м объемом;  $6-N$  – количество граней  $i,j$ -го объема, являющихся поверхностями ограждений;  $V_{ij}$  - объем элементарного параллелепипеда;  $\varepsilon_{ij}$  - плотность отраженной энергии в  $i,j$  – м объеме.

Плотность потоков энергии  $q_n$  определяются как

$$q_n = -0.5cl(\varepsilon_{ij} - \varepsilon_n)/h_n, \quad (8)$$

где индекс  $n \in \{i-1, j; i+1, j; i, j-1; i, j+1\}$ ;  $h_n$  - расстояние между центрами  $i, j$  – го объема и контактирующих с ним объемов в направлении  $n$ .

Алгоритм численного метода реализован в компьютерной программе. Особенностью рассмотренного метода является учет в граничных условиях (6) интенсивности поступления энергии в объем через первые отражения прямого звука, а также учет в них интенсивности звуковой энергии, проникающей в пространство потолка из нижних смежных помещений через его конструкцию.

Уровень шума в «шумном» соразмерном помещении при работе в нем точечного источника шума рассчитывается по формуле

$$L_w = L_w + 10 \lg \left( \frac{\Phi}{\Omega r^2} + \frac{4(1-\alpha)}{\alpha S} \right), \quad (10)$$

$L_w$  - уровень акустической мощности локального источника шума, дБ;  $r$  – расстояние от источника до расчетной точки на поверхности потолка;  $\Phi$  – фактор направленности излучения шума источником;  $\Omega$  - пространственный угол излучения шума;  $\alpha$  - средний коэффициент звукопоглощения ограждений помещения;  $S$  – площадь ограждений «шумного» помещения.

*Расчет уровней шума, проникающего из пространства потолка в ниже лежащие помещения.*

После определения энергетических параметров отраженного и прямого шума, образующегося в пространстве потолка, определяется суммарная звуковая энергия в каждой расчетной точке пространства. Эти сведения позволяют определить величину шума, проникающего через потолок в любое помещение системы.

Средний уровень звукового давления для случая соразмерных ниже лежащих помещений можно рассчитать по формулам диффузного поля. При этом уровень акустической мощности шума, поступающего через потолок, следует определять по формуле

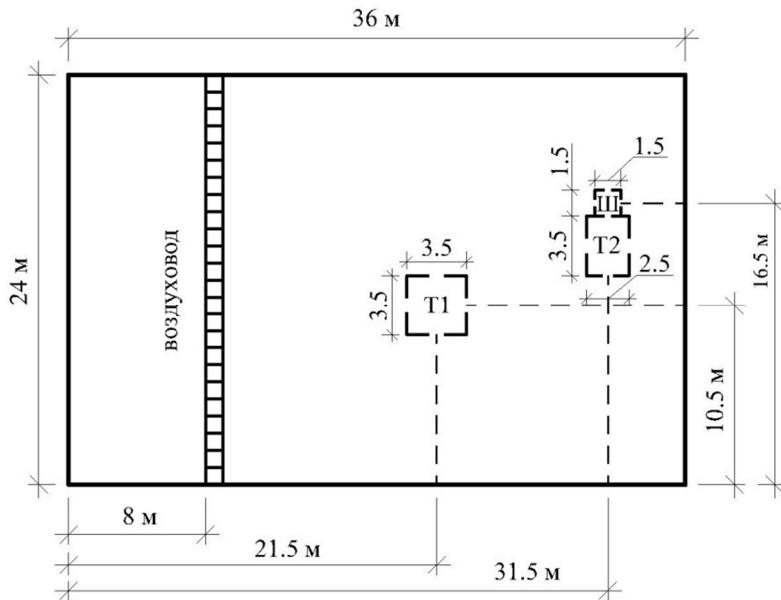
$$L_{wII} = 10 \lg \left( \frac{1}{W_0} \sum_{k=1}^K \frac{\varepsilon_k c 10^{-0.1 R_{nk}}}{2(2 - \alpha_n)} \Delta S_k \right), \quad (11)$$

где  $K$  – количество участков технологического потолка, через которые передается шум;  $\Delta S_k$  - площадь  $k$ -го элементарного участка потолка, м<sup>2</sup>;  $R_{nk}$  - звукоизоляция  $k$ -го участка потолка, дБ;  $\varepsilon_k$  - суммарная рассчитанная плотность звуковой энергии перед  $k$ -м участком потолка, Дж/м<sup>3</sup>;  $W_0 = 10^{12}$  Вт - пороговое значение акустической мощности;  $\alpha_n$  - коэффициент звукопоглощения  $k$ -ой поверхности потолка.

Таким образом, произведя расчеты для всех октавных полос частот, можно определить уровни шума в помещениях для всего нормируемого диапазона частот, установить соответствие уровней допустимым значениям и, в случае их превышения, произвести изменения в звукоизоляции конструкции потолка и / или стенок воздуховода, а также внести дополнительное звукопоглощение в пространство потолка.

В качестве примера приведены результаты практической реализации предложенного метода. По заданию проектной организации произведены расчеты в выгораживаемой части офисного помещения, имеющего общий технологический потолок, в котором размещен транзитный воздуховод. Шум в пространство потолка попадает также из шумного технического помещения офиса. Схема офисного помещения в уровне технологического потолка приведена на рисунке 3.

Общие размеры офисного помещения 36x24x3 м. На схеме рисунка 3 показана привязка необходимых для расчета помещений: помещения III, из которого в технологический потолок при работе технологического оборудования излучается звуковая энергия, и проектируемого, защищаемого от шума помещения T1. На схеме также дана привязка «тихого» офисного помещения T2, расположенного рядом с «шумным» помещением III. Высота пространства технологического потолка согласно заданию равна 0.7 м. Транзитный воздуховод, выполненный из стали толщиной 1мм, имеет квадратное сечение 300x300 мм.



**Рисунок 3 – Схема офисного помещения в уровне технологического потолка с привязкой воздуховода, «шумного» помещения Ш, выгораживаемого «тихого» помещения T1, существующего «тихого» помещения T2**

Ниже приведены расчеты для октавной полосы с  $f_{cp}=1000$  Гц.

Звукоизоляция стенки воздуховода в октавной полосе с  $f_{cp}=1000$  Гц составляет 29 дБ. Средние коэффициенты звукопоглощения помещений в этой полосе частот равны  $\alpha=0.14$ , а средний коэффициент ограждений внутри потолка  $\alpha_{\text{н}}=0.10$ . Акустическая мощность в воздуховоде на входе в пространство потолка офиса в исследуемой полосе частот составляет 85.6 дБ, а общий уровень акустической мощности, излучаемой воздуховодом в пространство потолка равен 75.6 дБ. При расчетах учтено, что согласно [2] затухание акустической мощности в воздуховоде составляет 0.2 дБ/м. Акустическая мощность источника, работающего в «шумном» помещении, равна 80.5 дБ. Нормативный уровень в защищаемом помещении в полосе частот с  $f_{cp}=1000$  Гц равен 45 дБ. Исходная звукоизоляция конструкций потолка при расчетах принята равной 5 дБ.

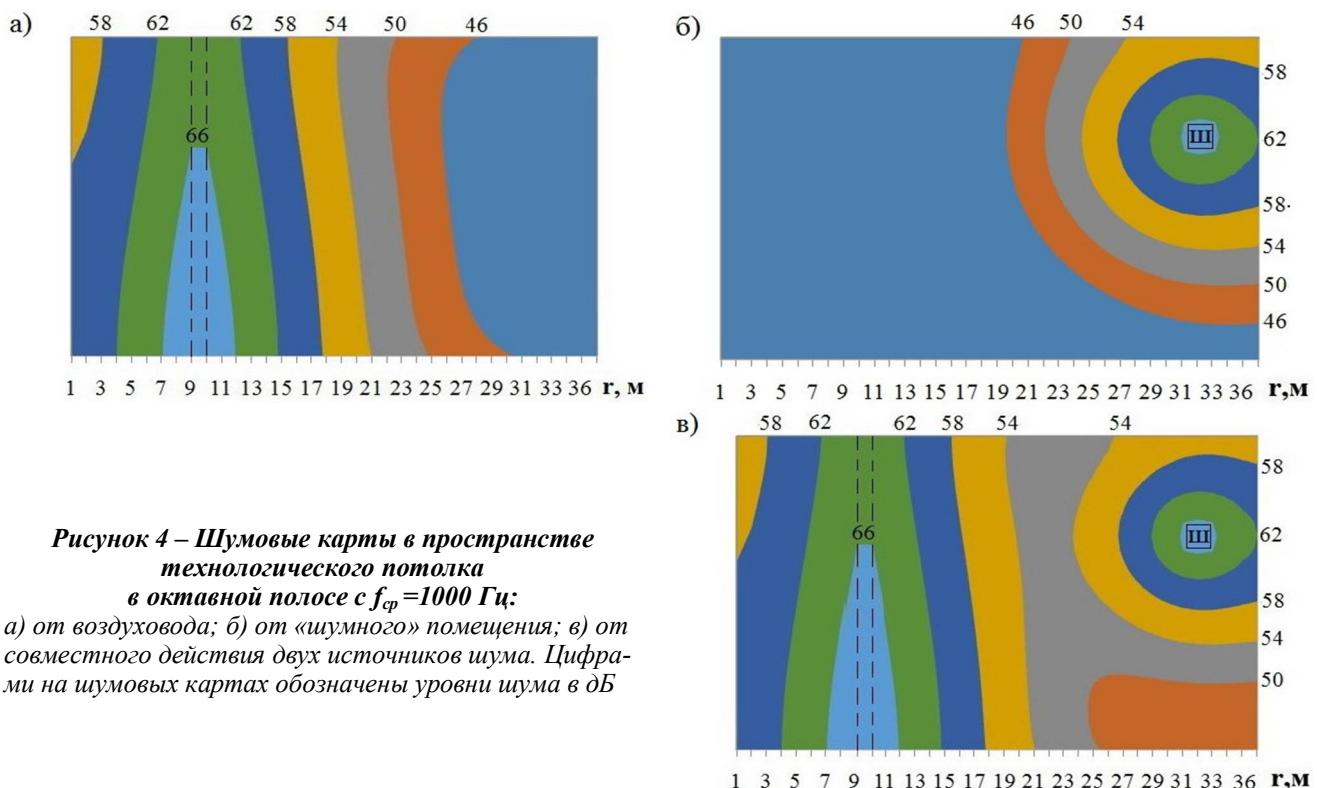
Расчеты выполнены при совместном действии двух источников шума, а также по отдельности от шума воздуховода и от шума локального источника, размещенного в «шумном» помещении.

В таблице 1 приведены результаты расчетов шума в проектируемом помещении T1 и в помещении T2, расположенном рядом с «шумным» помещением. Расчеты произведены для различных вариантов высоты пространства потолка при разном звукопоглощении ограждений потолка и при разной звукоизоляции потолка над «шумным» помещением.

Как видно из таблицы 1, для обеспечения нормативных требований в проектируемом помещении T1 необходимо, чтобы звукоизоляция потолка над «шумным» помещением была не ниже 15 дБ. Следует отметить, что такой звукоизоляции будет недостаточно для защиты помещения T2, расположенного рядом с «шумным» помещением. В этом случае целесообразно также повысить звукоизоляцию потолка над помещением T2 до 15 дБ.

Карты шумового поля в пространстве потолка для случая, когда звукоизоляция потолка над «шумным» помещением равна 15 дБ приведены на рисунке 4.

Из результатов примера видно, что предложенная методика дает возможность проектировать защиту от шума, распространяющегося через пространство потолка, с учетом высоты, акустических характеристик и звукоизоляции конструкции потолка. При необходимости возможно также изменять звукоизоляцию стенок воздуховода путем нанесения на них различных кожухов и покрытий [8-11].



**Рисунок 4 – Шумовые карты в пространстве технологического потолка**

**в октавной полосе с  $f_{\text{ср}} = 1000 \text{ Гц}$ :**

*a) от воздуховода; б) от «шумного» помещения; в) от совместного действия двух источников шума. Цифрами на шумовых картах обозначены уровни шума в дБ*

**Таблица 1 - Результаты расчета шума в проектируемом «тихом» помещении Т1 и «тихом» помещении Т2**

Расчетная ситуация			Уровни шума в «тихих» помещениях Т1 и Т2, дБ		
$H_{\text{пп}}, \text{м}$	$\alpha_{\text{пп}}$	$R_{\text{ппш}}$	от воздуховода	от «шумного» помещения	от общего воздействия воздуховода и «шумного» помещения
«тихое» помещение Т1					
0.5	0.10	5.0	38.6	45.7	46.5
0.7	0.10	5.0	43.2	49.7	50.6
0.7	0.20	5.0	38.9	45.3	46.2
0.7	0.10	10.0	43.2	44.7	47.0
0.7	0.10	15.0	43.2	39.7	44.8
1.0	0.10	5.0	46.7	52.4	53.5
«тихое» помещение Т2					
0.7	0.10	5.0	32.5	64.2	64.2
0.7	0.20	5.0	28.8	62.7	62.7
0.7	0.10	10.0	32.5	59.2	59.2
0.7	0.10	15.0	32.5	54.2	54.2
0.7	0.20	15.0	28.8	52.7	52.7
1.0	0.10	5.0	37.9	63.3	63.3
1.0	0.10	15.0	37.9	53.3	53.4

В целом, результаты исследований показали:

1. Расчет шума и проектирование шумозащиты в общественных зданиях с технологическими потолками следует производить как в системах акустических связанных через пространство потолка воздушных объемов.

2. Предложенная методика и ее компьютерная реализация позволяют производить многофакторный анализ процессов формирования шумового режима в системе связанных пространством потолка помещений и обеспечивать целенаправленный выбор средств шумозащиты в них.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Антонов, А.И. Инженерный метод расчета шума в технических помещениях гражданских зданий / А.И. Антонов, О.А. Жоголева, Т.С. Яровая // Устойчивое развитие региона: Архитектура, строительство, транспорт: Материалы 2-й Международ. науч.-практ. конф. Тамбов. - 2015. - С. 50-54.
2. Антонов, А.И. Расчеты уровней прямого звука от линейных источников шума, располагающихся на промышленных предприятиях и в городской застройке / А.И. Антонов, В.И. Леденев, Е.О. Соломатин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2013. - № 31-1 (50). - С. 329-335.
3. Гусев, В.П. Расчет и проектирование систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления / В.П. Гусев, В.И. Леденев, М.Ю. Лешко // Справочное пособие под редакцией И.Л. Шубина. М.: НИИСФ РААСН. – 80с.
4. Гусев, В.П. Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования / В.П. Гусев, О.А. Жоголева, В.И. Леденев, Е.О. Соломатин // Жилищное строительство. - 2012. - № 6. - С. 52-54.
5. Гусев, В.П. Компьютерные расчёты уровней шума при проектировании крупногабаритных газовоздушных каналов / В.П. Гусев, О.А. Жоголева, В.И. Леденев // Бюллетень строительной техники. М., 2016.- № 6. - С. 15-17
6. Матвеева, И. В. Оценка звуковых полей помещений при проектировании объемно-планировочных и конструктивных решений производственных зданий с учетом защиты от шума: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / И.В. Матвеева. – М., 2000. – 19 с.
7. Леденев, В.И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий. / В.И. Леденев // - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. - 156 с.
8. Кочкин, А.А. Легкие звукоизолирующие ограждающие конструкции из элементов с вибродемптирующими слоями / А.А. Кочкин // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2011. - №5-2(38). - С.152-156.
9. Гусев, В.П. Изоляция шума воздуховодов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов / В.П. Гусев, А.В. Сидорина // Строительные материалы. - 2013. - №6. - С.37-39.
10. Гусев, В.П. Акустические характеристики покрытий на воздуховоды и технологические трубы / В.П. Гусев, А.В. Сидорина // Строительные материалы. - 2015. - №6. - С.35-38.
11. Гусев, В.П. Защита от шума вентиляционного оборудования кожухами и звукоизолирующими покрытиями / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко // БСТ. - 2016. - №6. - С.12-14.

**Гусев Владимир Петрович**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва

Доктор технических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией «Защита от шума вентиляционного и инженерно-технологического оборудования»

E-mail: wpgusev@yandex.ru

**Жоголева Ольга Александровна**

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Кандидат технических наук, ассистент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»

E-mail: zhogoleva.olga@rambler.ru

**Леденев Владимир Иванович**

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»

E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

---

V. GUSEV, O. ZHOGOLEVA, V. LEDENEV

**DESIGNING NOISE PROTECTION IN BUILDINGS WITH SUSPENDED CEILINGS FOR TECHNOLOGICAL PURPOSES**

*In public buildings, planning systems have recently become widespread, in which the acoustic communication between rooms occurs through the spaces of common suspended ceilings for technological purposes. In the ceiling space noise comes from noisy rooms, penetrating through the ceiling design, as well as from air ducts placed in the ceiling space. Spreading in them, it then noises the lower lying rooms. To reduce noise propagating in the ceiling space, it is necessary to apply construction-acoustic measures. These include increasing the sound insulation of structures and sound absorption of the ceil-*

ing. When designing them, it is necessary to perform noise calculations before and after applying noise protection. To calculate the noise, a technique has been developed that takes into account the nature of noise propagation in the ceiling spaces, both in flat rooms. In this case, the duct is considered as a linear source of noise. The technique also takes into account the sound energy penetrating through the ceiling from "noisy" rooms. An example of noise protection design is given.

**Key words:** technological ceiling, noise calculation, sound insulation, sound energy distribution.

### BIBLIOGRAPHY

1. Antonov A.I. Engineering method of noise calculation in technical buildings of civil buildings / A.I. Antonov, OA Zhogoleva, T.S. Spring // Sustainable development of the region: Architecture, construction, transport: Materials 2nd International. Scientific-practical. Conf. Of Tambov. - 2015. - P. 50-54.
2. Antonov A.I. Calculations of the levels of direct sound from linear sources of noise, located in industrial enterprises and in urban areas / A.I. Antonov, V.I. Ledenev, E.O. Solomatin // Bulletin of the Volgograd State Architectural and Construction University. Series: Building and architecture. - 2013. - No. 31-1 (50). - P. 329-335.
3. Gusev V.P. Calculation and design of ventilation, air conditioning and air heating systems / V.P. Gusev, V.I. Ledenev, M.Yu. Leshko // A reference manual edited by I.L. Shubina. M.: NIISF RAASN. - 80s.
4. Gusev, V.P. Method for evaluation of noise propagation through air channels of heating, ventilation and air conditioning systems / V.P. Gusev, O.A. Zhogoleva, V.I. Ledenev, E.O. Solomatin // Housing construction. - 2012. - No. 6. - P. 52-54.
5. Gusev V.P. Computer calculations of noise levels in the design of large gas-air channels / V.P. Gusev, O.A. Zhogoleva, V.I. Ledenev // Bulletin of construction equipment. M., 2016.-? 6. - P. 15-17
6. Matveeva IV Estimation of sound fields of premises when designing volumetric-planning and constructive decisions of industrial buildings taking into account protection from noise: the author's abstract. Dis. ... cand. Tech. Sciences: 05.23.01 / I.V. Matveyev. - M., 2000. - 19 p.
7. Ledenev V.I. Statistical energy methods for calculating noise fields in the design of industrial buildings. / IN AND. Ledenev // - Tambov: Publishing house of Tamb.gos.technological university, 2000. - 156 p.
8. Kochkin A.A. Light sound-proof enclosing structures from elements with vibrodempfiruyuschimi layers / A.A. Kochkin // News of the South-Western State University. - 2011. - No. 5-2 (38). - P.152-156.
9. Gusev V.P. Insulation of the noise of ventilation ducts with coatings using elastomeric and fibrous materials / V.P. Gusev, A.V. Sidorina // Building Materials. - 2013. - №6. - P.37-39.
10. Gusev V.P. Acoustic characteristics of coatings on air ducts and process pipes / V.P. Gusev, A.V. Sidorina // Building Materials. - 2015. - №6. - P.35-38.
11. Gusev V.P. Protection against noise of ventilation equipment by enclosures and soundproof coatings / V.P. Gusev, M.Yu. Leshko // BST. - 2016. - №6. - P.12-14.

#### V. Gusev

Scientific- Research Institute of Building Physics of the Russian Academy architecture and building Sciences, Moscow  
Doctor of Technical Sciences, Head. Laboratory "Protection against noise of ventilation and engineering equipment"  
E-mail: [wpgusev@yandex.ru](mailto:wpgusev@yandex.ru)

#### O. Zhogoleva

Tambov State Technical University, Tambov  
Candidate of Technical Sciences, assistant of the chair "Urban construction and roads "  
E-mail: [zhogoleva.olga@rambler.ru](mailto:zhogoleva.olga@rambler.ru)

#### V. Ledenev

Tambov State Technical University, Tambov  
Doctor of Technical Sciences, professor, professor of Department "Urban construction and roads"  
E-mail: [gsiad@mail.tambov.ru](mailto:gsiad@mail.tambov.ru)

УДК 691 (571.56)

КОРНИЛОВ Т.А., КЫЧКИН И.Р., ОВЧИННИКОВА О.Н.

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЦОКОЛЬНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ КАРКАСНО-МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ С ХОЛОДНЫМИ ПОДПОЛЬЯМИ

*Выявлены основные причины потери теплоты через цокольное перекрытие каркасно-монолитных зданий. С учетом климатических особенностей Крайнего Севера и опыта строительства зданий разработаны эффективные конструктивные решения соединений наружных и внутренних стен к цокольному перекрытию каркасно-монолитных зданий. Предложено использовать в качестве первых рядов кладки стен многоступенчатых термовкладышей из мелкоразмерных блоков с низкой теплопроводностью. По представленному варианту конструктивного решения получен патент на полезную модель «Узел соединения ограждающей конструкции и цокольного перекрытия над холодными и проветриваемыми подпольями». Приведены результаты анализа температурных полей для соединений наружных и внутренних стен с цокольным перекрытием. Выполнены расчеты удельных потерь теплоты через соединение стен с цокольным перекрытием в зависимости от различных параметров.*

**Ключевые слова:** тепловая защита, температурные поля, потеря теплоты, стена, цокольное перекрытие, автоклавный пенобетон.

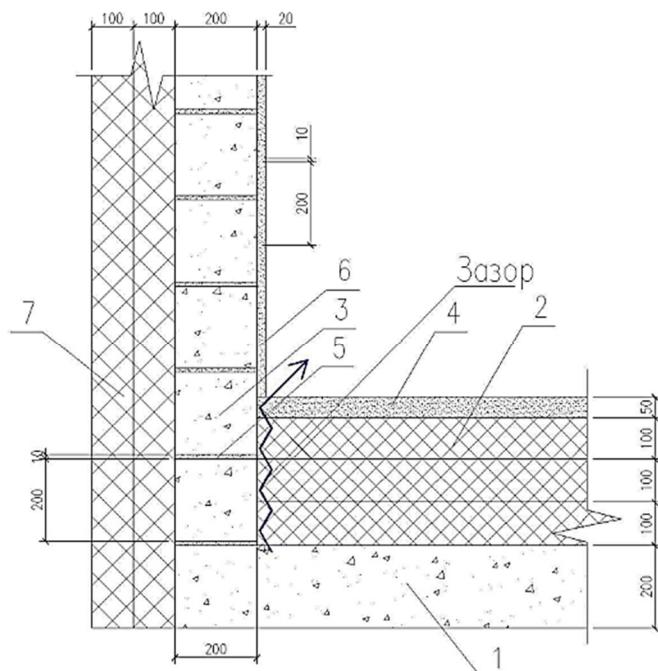
При проектировании тепловой защиты энергоэффективных зданий одним из наиболее важных и сложных вопросов является снижение влияния теплопроводных включений за счет конструктивных мероприятий [1]. Теплопроводные включения значительно снижают теплоизацию зданий и требуют точного их учета при расчете приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций [2-5]. Многими авторами не раз рассматривался вопрос повышения теплотехнической однородности наружных стен в зоне сопряжения с балконными плитами и железобетонными междуэтажными перекрытиями [6-8].

В последние десятилетия при строительстве многоэтажных зданий в районах Якутии активно применяется технология каркасного домостроения из монолитного железобетона. Согласно требованиям СП 50.13330.2012 - актуализированной редакции СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» для климатических условий Якутии регламентируются весьма высокие значения приведенного сопротивления стен жилых зданий  $4,61\text{--}5,75 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)}/\text{Вт}$  и цокольных перекрытий над проветриваемым подпольем  $6,77\text{--}8,41 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)}/\text{Вт}$ . С учетом этого в качестве стенных ограждений каркасно-монолитных зданий используется кладка из мелких бетонных блоков толщиной 200 мм с наружной теплоизоляцией из минераловатных плит с вентилируемым фасадом или пенополистирольных плит с «мокрым» фасадом. Для теплоизоляции цокольного перекрытия, как правило, используются пенополистирольные плиты (рис.1,а).

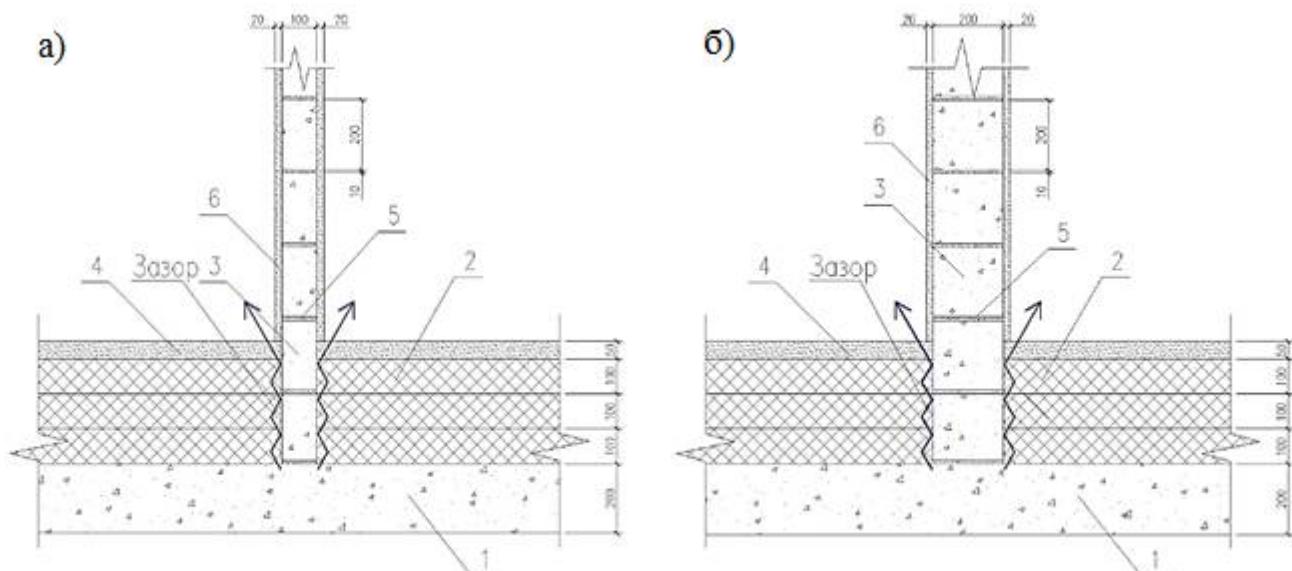
При принятых типовых решениях бетонные блоки вместе с железобетонным перекрытием образуют теплопроводное включение, что значительно снижает сопротивление теплопередаче наружного ограждения в соединении с цокольным перекрытием. Аналогичные теплопроводные включения возникают и в местах опирания внутренних стен из мелких бетонных блоков на цокольное перекрытие. Результаты выполненных теплотехнических расчетов показывают, что при расчетной температуре  $t_e=+20^\circ\text{C}$  и  $t_h=-52^\circ\text{C}$  минимальная температура в соединении наружной стены с цокольным перекрытием (рис.1,а) составляет  $t_{e\ min}=+10^\circ\text{C}$ , что предполагает выпадение конденсата ( $t_p=+11.6^\circ\text{C}$ ).

В типовых решениях соединения внутренних стен с цокольным перекрытием (рис.1,б) минимальная температура на внутренней поверхности при толщине стен 100 мм и 200 мм составляет соответственно  $t_{e\ min}=+15.2^\circ\text{C}$  и  $t_{e\ min}=+13.2^\circ\text{C}$ . Наиболее низкая температура на внутренней поверхности стены получена для соединения стены с цокольным перекрытием в углу здания  $t_{e\ min}=+2.7^\circ\text{C}$ . В статьях [9,10] также указывается на значительное снижение температуры на внутренней поверхности в угловом соединении наружного ограждения даже при утеплении цокольного перекрытия с наружной стороны.

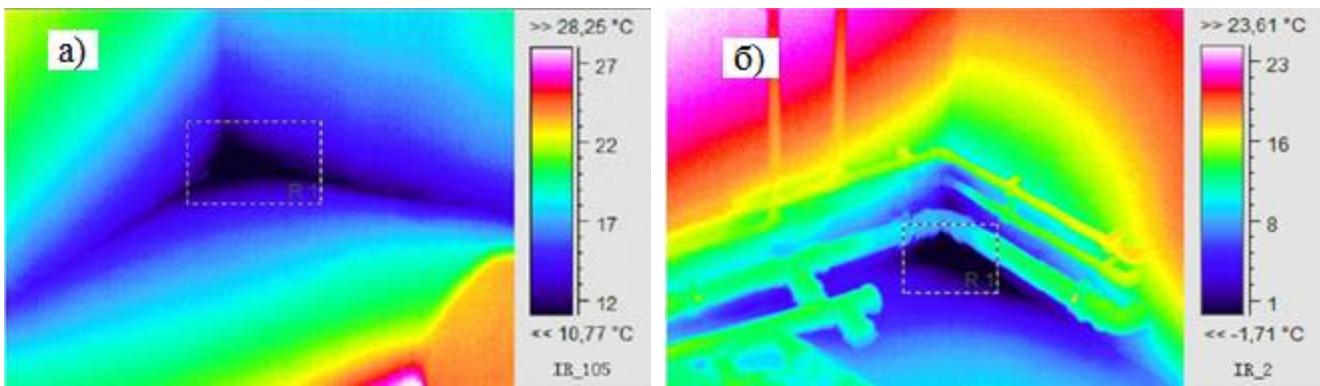
Накопленный опыт строительства и эксплуатации многоэтажных зданий в Якутии показывает, что нарушение температурного режима на первом этаже каркасно-монолитных зданий обусловлено не только наличием теплопроводного включения в соединении стен с цокольным перекрытием, но и появлением щелей из-за усадки пенополистирольных плит со временем эксплуатации (рис.1). Этот факт подтверждается многочисленными данными тепловизионных съемок, где в большинстве случаев значительная утечка тепла наблюдается по периметру пола в помещениях первого этажа (рис.2).



**Рисунок 1,а - Типовое решение узлов примыкания наружной стены к цокольному перекрытию в каркасно-монолитных зданиях:** 1 – монолитная плита цокольного перекрытия; 2 – пенополистирольные плиты М35; 3 – бетонные блоки; 4 – цементно-песчаный раствор; 5 – кладочный раствор; 6 – штукатурка; 7 – наружное утепление из минераловатных плит



**Рисунок 1,б - Типовое решение узлов примыкания наружной стены к цокольному перекрытию в каркасно-монолитных зданиях при толщине стены 100 мм (а) и 200мм (б): 1 – монолитная плита цокольного перекрытия; 2 – пенополистирольные плиты М35; 3 – бетонные блоки; 4 – цементно-песчаный раствор; 5 – кладочный раствор; 6 – штукатурка**



**Рисунок 2 - Термограммы участков 1 (а) и2 (б) примыкания стенового ограждения к цокольному перекрытию каркасно-монолитного здания при температуре наружного воздуха -40°С**

При появлении зазора между торцом пенополистирольных плит и кладкой потеря тепла усиливается в период наибольших холодов за счет повышенной инфильтрации воздуха. На первом этаже 9-ти этажного здания со свайным фундаментом и проветриваемым подпольем разница давления между наружным и внутренним воздухом в наиболее холодные дни зимнего периода ( $t_h = -40^{\circ}\text{C} \dots -55^{\circ}\text{C}$ ) может достигать 40-70 Па. Следует отдельно отметить, что особенно проблемными участками являются также места расположения температурных швов в цокольном перекрытии, где сложно обеспечить воздухонепроницаемость по причине отсутствия герметизирующих материалов, способных сохранять упругость при низкой температуре наружного воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже.

В ряде работ [9-11] предлагается конструктивное решение углового соединения стены и цокольного перекрытия для каркасно-монолитных зданий с проветриваемыми подпольями, заключающееся в создании перфорации в стене путем использования вместо второго ряда кладки железобетонных балок, опирающихся на опоры. Несомненно, такое конструктивное решение значительно снижает влияние теплопроводного включения. Вместе с тем, практическая реализация предлагаемого решения при проектировании и строительстве зданий приведет к повышению трудоемкости производства кладочных работ и дополнительным затратам, так как монтаж железобетонных балок может выполняться только с использованием грузоподъемных механизмов. Рассматриваемое конструктивное решение также не учитывает основную причину нарушения теплового режима на первом этаже каркасно-монолитных зданий – появление зазора из-за усадки пенополистирольных плит.

С учетом всего вышесказанного, предлагается более эффективное конструктивное решение соединения наружных и внутренних стен с цокольным перекрытием для каркасно-монолитных зданий. Основная суть предлагаемого решения заключается в использовании многоступенчатых термовкладышей из материалов с низкой теплопроводностью, например, автоклавного ячеистого бетона в качестве первых рядов кладки стен (рис.3). Получен патент на полезную модель узла соединения наружной ограждающей конструкции с использованием автоклавных пенобетонных блоков и цокольного перекрытия над холодными и проветриваемыми подпольями от 30.12.2016 года. При ступенчатом расположении термовкладышей стык между пенополистирольными плитами и торцом первого ряда кладки перекрывается сверху слоем теплоизоляции, что повышает эксплуатационную надежность соединения стенового ограждения с цокольным перекрытием с точки зрения теплозащиты. Принятая схема кладки легких блоков первых рядов стен учитывает возможную усадку пенополистирольных плит. При этом трудоемкость возведения стен не повышается.

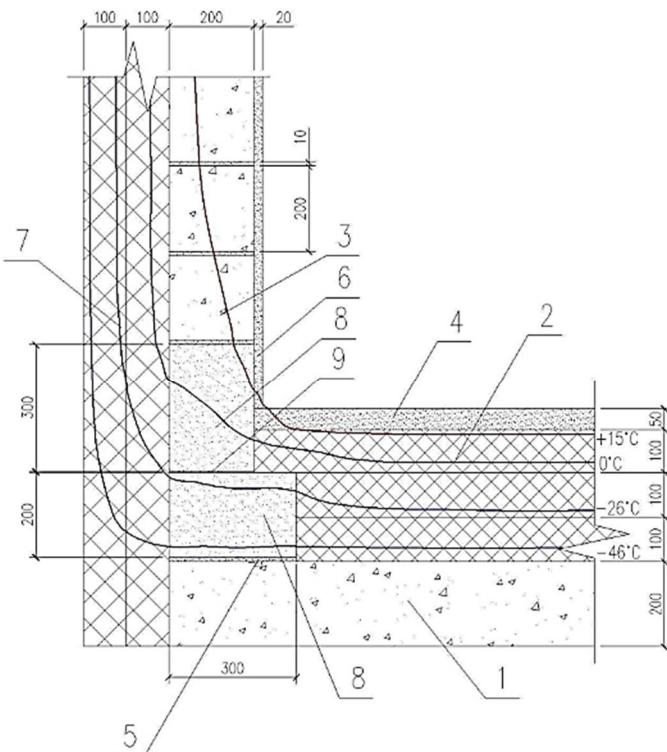
Для оценки теплозащитных свойств предлагаемых решений соединения стен с цокольным перекрытием проведены теплотехнические расчеты с применением сертифицированной программой расчета трехмерных полей “SHADDAN 3D ST” при расчетной температуре внутреннего и наружного воздуха  $t_e = +20^{\circ}\text{C}$  и  $t_h = -52^{\circ}\text{C}$ . Сначала рассмотрен фрагмент соединения наружной стены с цокольным перекрытием со следующими размерами: высота стены от уровня низа цокольного перекрытия 1,30 м; горизонтальная длина фрагмента цокольного перекрытия

тия от наружной поверхности теплоизоляционного слоя стены 1,2 м. Основные размеры отдельных слоев стены и цокольного перекрытия, теплотехнические характеристики материалов приведены на рис.3. Отдельно выполнены расчеты соединения наружной стены с цокольным перекрытием с двумя и одним рядами ступенчатой кладки из мелких блоков из автоклавного пенобетона. Результаты теплотехнических расчетов показывают на значительное снижение влияния теплопроводного включения. Минимальная температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции при использовании двух рядов термовкладышей (рис.3,а) получилась равной  $t_{\text{в min}} = +14.6^{\circ}\text{C}$ , что значительно выше температуры для типового решения рассматриваемого узла. Линия с нулевой температурой в углу соединения располагается в верхнем теплоизоляционном слое достаточно близко к цементно-песчаной стяжке (рис.3,а). При применении одного ряда термовкладышей (рис.3,б) минимальная температура на внутренней поверхности соединения снижается до  $t_{\text{в min}} = +13.1^{\circ}\text{C}$ , а линия с нулевой температурой смещается вниз (рис.3,б).

На участках соединения наружной стены с цокольным перекрытием кроме термовкладышей можно предусмотреть дополнительную наружную теплоизоляцию со стороны стены, как показано на рис.3,в. В случае применения дополнительной теплоизоляции, например, толщиной 100 мм на высоту 600 мм минимальная температура получена в углу соединения  $t_{\text{в min}} = +14.7^{\circ}\text{C}$ , что выше всего на  $0.2^{\circ}\text{C}$ , чем в первоначальном варианте соединения. Линия с нулевой температурой смещается от внутреннего угла здания наружу (рис.3,в). Данное конструктивное решение соединения является наилучшим по теплозащитным свойствам. Вместе с тем, дополнительная теплоизоляция стены на участке соединения с цокольным перекрытием предусматривает повышение трудоемкости работ и затрат. Для вентилируемых фасадов также возникают некоторые конструктивные сложности с устройством продухов для обеспечения вентиляции воздуха в фасадной конструкции стенового ограждения.

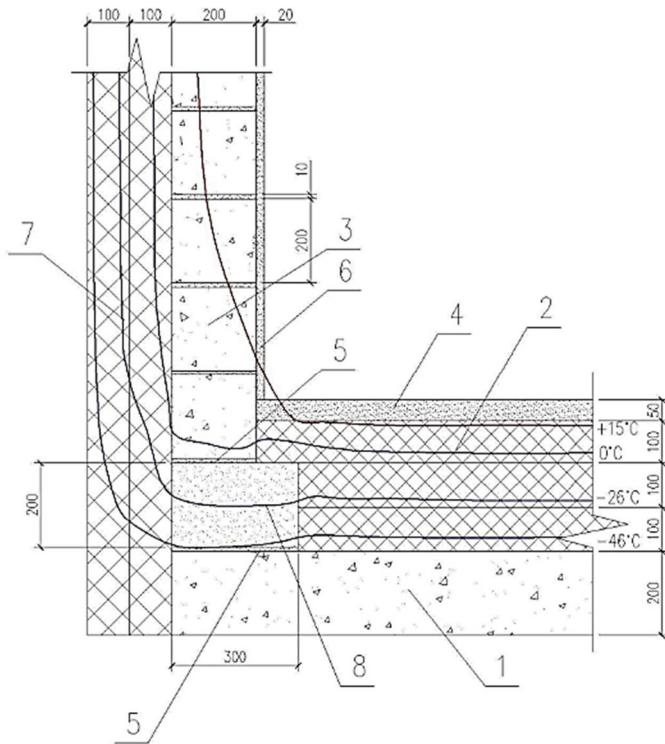
**Рисунок 3,а - Предлагаемые решения узла примыкания наружного стенового ограждения к цокольному перекрытию с результатами расчета распределения температуры в каркасно-монолитных зданиях при температуре наружного воздуха  $-52^{\circ}\text{C}$ :**

1 – монолитная плита цокольного перекрытия ( $\lambda = 1,92 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 2 – пенополистирольные плиты М35 ( $\lambda = 0,04 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 3 – бетонные блоки ( $\lambda = 0,64 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 4 – цементно-песчаный раствор ( $\lambda = 0,76 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 5 – кладочный раствор ( $\lambda = 0,76 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 6 – штукатурка ( $\lambda = 0,70 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 7 – наружное утепление из минераловатных плит ( $\lambda = 0,042 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 8 – автоклавный пенобетонный блок ( $\lambda = 0,16 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ )



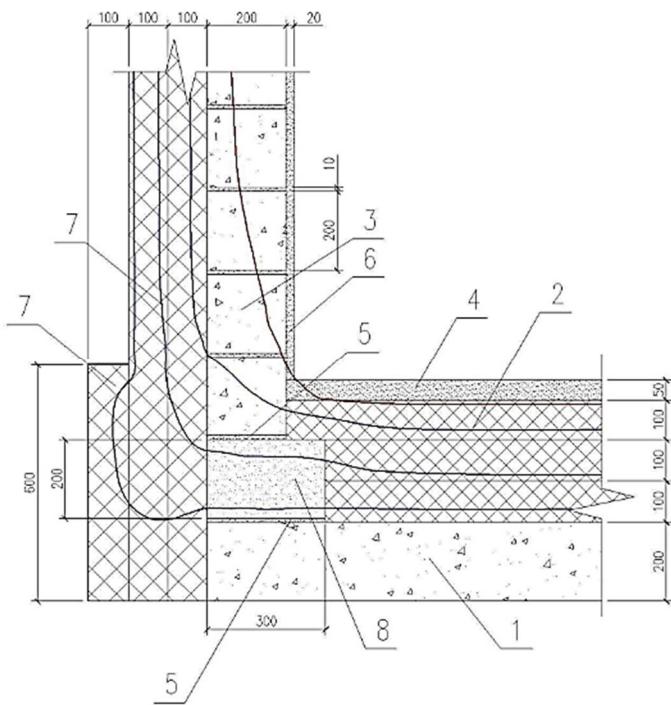
Теплотехнические расчеты также подтвердили эффективность применения ступенчатых термовкладышей из легких блоков и в местах опирания внутренних стен на цокольное перекрытие. Здесь в целях экономии предлагается использовать один ряд мелких блоков из автоклавного пенобетона в качестве термовкладышей (рис.4). Минимальная температура на внутренней поверхности соединения внутренних стен толщиной 100 мм и 200 мм с цоколь-

ным перекрытием получена соответственно  $t_{\text{в min}} = +16.4^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{в min}} = +16.1^{\circ}\text{C}$ . Следует отметить, что линия с нулевой температурой на участке опирания внутренней стены располагается гораздо ниже, чем в типовом решении (рис.4).



*Рисунок 3,б - Предлагаемые решения узла примыкания наружного стенового ограждения к цокольному перекрытию с результатами расчета распределения температуры в каркасно-монолитных зданиях при температуре наружного воздуха  $-52^{\circ}\text{C}$ :*

*1 – монолитная плита цокольного перекрытия ( $\lambda=1,92 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 2 – пенополистирольные плиты М35 ( $\lambda=0,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 3 – бетонные блоки ( $\lambda=0,64 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 4 – цементно-песчаный раствор ( $\lambda=0,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 5 – кладочный раствор ( $\lambda=0,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 6 – штукатурка ( $\lambda=0,70 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 7 – наружное утепление из минераловатных плит ( $\lambda=0,042 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 8 – автоклавный пенобетонный блок ( $\lambda=0,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ )*

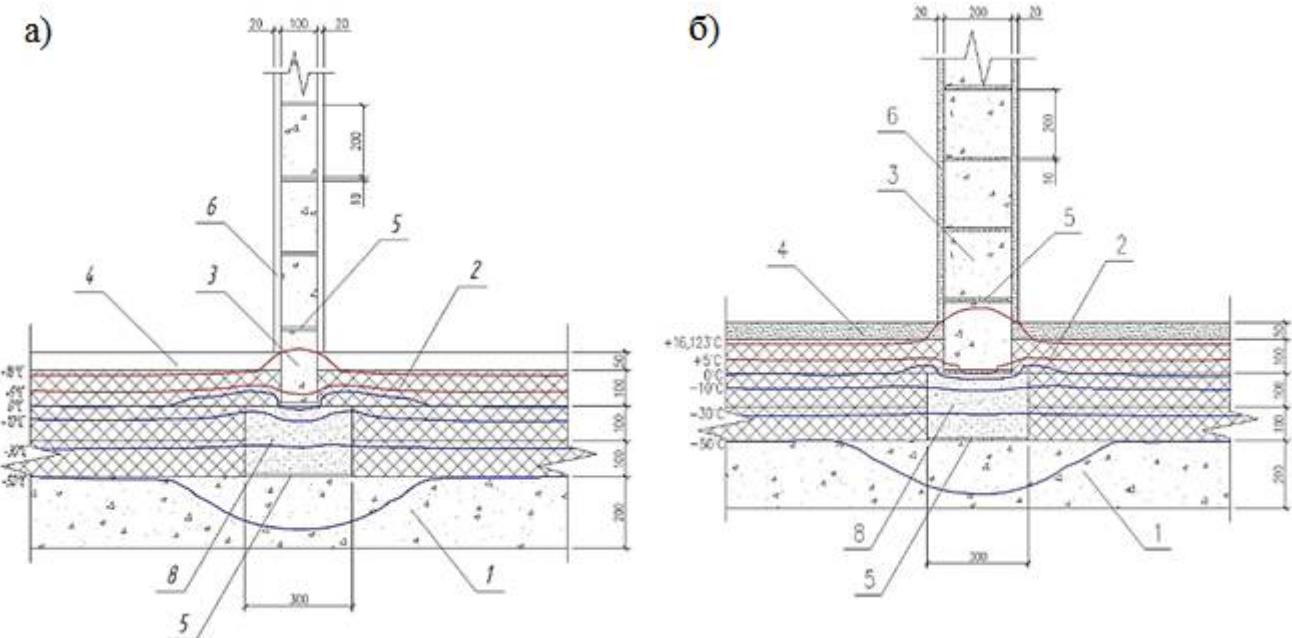


*Рисунок 3,в - Предлагаемые решения узла примыкания наружного стенового ограждения к цокольному перекрытию с результатами расчета распределения температуры в каркасно-монолитных зданиях при температуре наружного воздуха  $-52^{\circ}\text{C}$ :*

*1 – монолитная плита цокольного перекрытия ( $\lambda=1,92 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 2 – пенополистирольные плиты М35 ( $\lambda=0,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 3 – бетонные блоки ( $\lambda=0,64 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 4 – цементно-песчаный раствор ( $\lambda=0,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 5 – кладочный раствор ( $\lambda=0,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 6 – штукатурка ( $\lambda=0,70 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 7 – наружное утепление из минераловатных плит ( $\lambda=0,042 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ); 8 – автоклавный пенобетонный блок ( $\lambda=0,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ )*

Отдельно рассмотрен фрагмент углового соединения наружных стен с цокольным перекрытием размером по горизонтали 1,5 м в двух направлениях и 1,5 м по вертикали (рис.5). Минимальная температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции при использовании двух рядов термовкладышей получилась равной  $t_{\text{в min}} = +13.7^{\circ}\text{C}$ , что значительно выше температуры для типового решения рассматриваемого узла. Приведенное сопротивле-

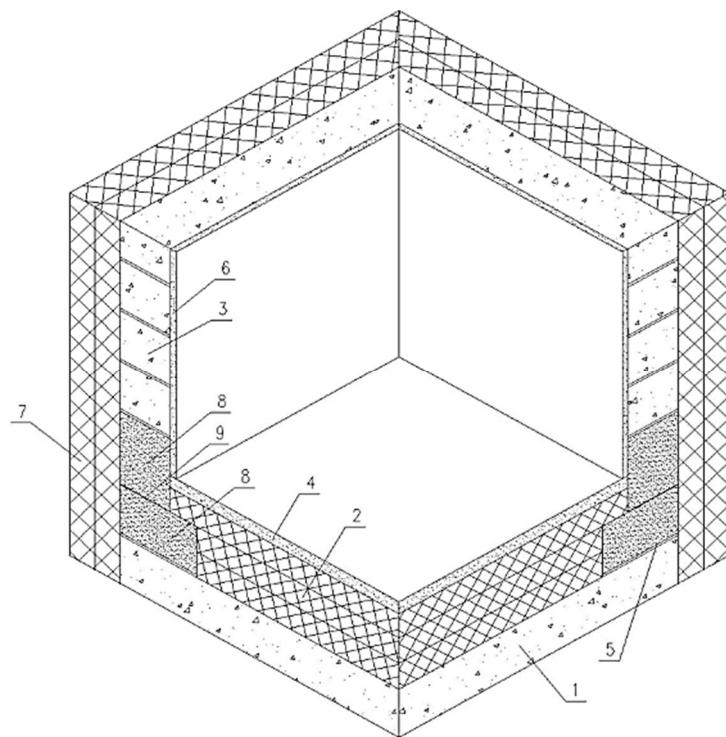
ние теплопередаче рассмотренного фрагмента углового соединения наружной стены с цокольным перекрытием равно  $R_{\text{оп}}^{\text{пр}} = 4,94 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , что также значительно выше, чем для типового соединения ( $R_{\text{оп}}^{\text{пр}} = 2,43 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ). Полученные результаты теплотехнических расчетов наглядно показывают высокую эффективность предлагаемого конструктивного решения наружных стен с цокольным перекрытием.



**Рисунок 4 - Предлагаемые решения узла примыкания внутреннего стекового ограждения к цокольному перекрытию с результатами расчета распределения температуры в каркасно-монолитных зданиях при температуре наружного воздуха  $-52^\circ\text{C}$  при толщине стены 100 мм (а) и 200мм (б):** 1 – монолитная плита цокольного перекрытия ( $\lambda=1,92 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 2 – пенополистирольные плиты М35 ( $\lambda=0,04 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 3 – бетонные блоки ( $\lambda=0,64 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 4 – цементно-песчаный раствор ( $\lambda=0,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 5 – кладочный раствор ( $\lambda=0,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 6 – штукатурка ( $\lambda=0,70 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); 8 – автоклавный пенобетонный блок ( $\lambda=0,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ )

Для удобства использования предлагаемых решений в табл.1 и 2 приведены полученные значения удельных потерь теплоты через рассматриваемые соединения стен с цокольным перекрытием в зависимости от толщины теплоизоляционного слоя стены и цокольного перекрытия. На потерю теплоты через узел сопряжения наружной стены с цокольным перекрытием влияют следующие параметры: теплопроводность примененных материалов; толщина цокольного перекрытия, толщина теплоизоляции цокольного перекрытия, толщина наружной теплоизоляции стены. В рассматриваемом узле принята наиболее распространенная толщина цокольного перекрытия 200 мм при сетке колон 6\*6 м железобетонного каркаса. Толщина теплоизоляционного слоя стекового ограждения принята 150 и 200 мм, характерная для климатических условий Якутии. Из табл.1 видно, что при дополнительной теплоизоляции стены снаружи в зоне узла сопряжения с цокольным перекрытием снижение удельных потерь теплоты незначительное на 1,6-2%. Эффективнее всего для повышения теплозащиты рассматриваемого узла сопряжения наружной стены увеличивать толщину теплоизоляционного слоя цокольного перекрытия. Например, при увеличении толщины верхнего теплоизоляционного слоя перекрытия с 100 до 200 мм удельные потери теплоты снижаются на 13,7%.

На потерю теплоты через узел опирания внутренней стены на цокольное перекрытие влияют толщины кладки и теплоизоляционного слоя перекрытия. При толщине кладки 200 мм удельные потери теплоты через рассматриваемый узел увеличиваются от 5,4% до 15,9% в зависимости от толщины верхнего слоя теплоизоляции цокольного перекрытия.



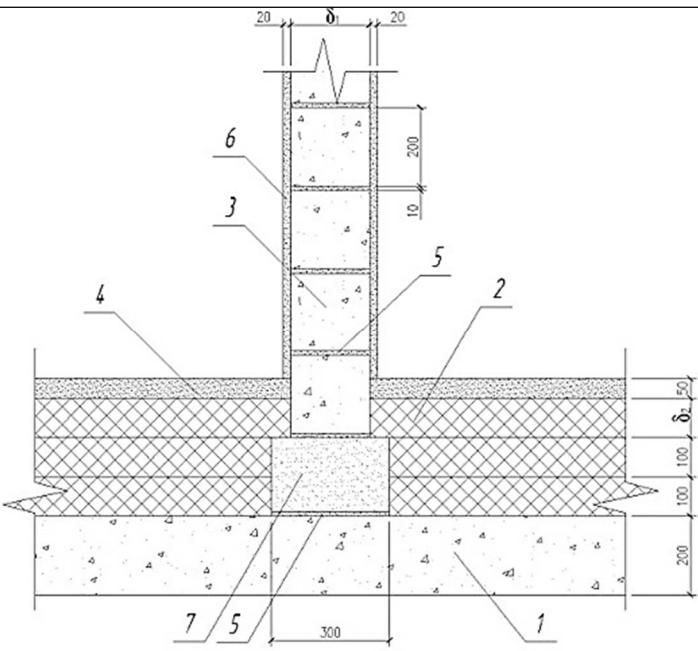
*Рисунок 5 - Фрагмент углового соединения наружных стен с цокольным перекрытием размером по горизонтали 1,5 м в двух направлениях и 1,5 м по вертикали, смоделированной в расчетной программе «SHADDAN 3D»*

Таблица 1 - Удельные потери теплоты  $\Psi$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C) для узла сопряжения наружной стены с цокольным перекрытием

Эскиз соединения и теплотехнические характеристики	$\delta_1$ (мм)	$\delta_2$ (мм)	$\delta_3$ (мм)	Удельные потери теплоты $\Psi$ , (Вт/(м <sup>2</sup> ·°C))
	50	150	0	0,620
	50			0,610
	100			0,605
	100	200	0	0,522
	50			0,517
	100			0,514
	150	200	0	0,482
	50			0,477
	100			0,475
	200	200	0	0,450
	50			0,447
	100			0,445

1 – монолитная плита цокольного перекрытия ( $\lambda=1,92$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 2 – пенополистирольные плиты М35 ( $\lambda=0,04$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 3 – бетонные блоки ( $\lambda=0,64$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 4 – цементно-песчаный раствор ( $\lambda=0,76$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 5 – кладочный раствор ( $\lambda=0,76$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 6 – штукатурка ( $\lambda=0,70$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 7 – наружное утепление из минераловатных плит ( $\lambda=0,042$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 8 – автоклавный пенобетонный блок ( $\lambda=0,16$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C)

Таблица 2 - Удельные потери теплоты  $\Psi$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C) для узла сопряжения внутренней стены с цокольным перекрытием

Эскиз соединения и теплотехнические характеристики	$\delta_1$ , мм	$\delta_2$ , мм	Удельные потери теплоты $\Psi$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
	100	50	0,727
		100	0,619
		200	0,498
	200	50	0,766
		100	0,684
		200	0,578

1 – монолитная плита цокольного перекрытия ( $\lambda=1,92$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 2 – пенополистирольные плиты М35 ( $\lambda=0,04$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 3 – бетонные блоки ( $\lambda=0,64$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 4 – цементно-песчаный раствор ( $\lambda=0,76$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 5 – кладочный раствор ( $\lambda=0,76$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 6 – штукатурка ( $\lambda=0,70$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C); 7 – автоклавный пенобетонный блок ( $\lambda=0,16$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

а)



б)



Рисунок 6 - Использование конструктивных решений примыкания наружных (а) и внутренних (б) ограждающих конструкций к цокольному перекрытию при проектировании и строительстве многоэтажного жилого здания в одном из микрорайонов г.Якутска

Таким образом, предлагаемые конструктивные решения соединения наружных и внутренних стен с цокольным перекрытием для каркасно-монолитных зданий со свайными фундаментами и проветриваемым подпольем эффективно снижают влияние теплопроводных включений и обеспечивают теплозащиту зданий в суровых климатических условиях. В настоящее время конструктивные решения использованы при проектировании и строительстве многоэтажного жилого здания в одном из микрорайонов г.Якутска (рис.6). После ввода в эксплуатацию жилого дома будет проводиться мониторинг температурного режима наружных ограждающих конструкций первого этажа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин, В.Г. О нормировании теплозащиты и требования расхода энергии на отопление и вентиляцию в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2013. - №31-2 (50). - С.468-474.
2. Гагарин В.Г. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Строительные материалы. - 2010. - №12. - С.4-12.
3. Гагарин, В.Г. Учет теплопроводных включений и вентилируемой прослойки при расчетах сопротивления теплопередаче стены с навесной фасадной системой / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, К.И. Лушин // Строительные материалы. - 2016. - №6. - С 32-35.
4. Кривошеин, А.Д. К вопросу о расчете приведенного сопротивления теплопередаче / А.Д. Кривошеин, С.В. Федоров // Инженерно-строительный журнал. - 2010. - № 8 (18). - С.21-27.
5. Гагарин, В.Г. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах / В.Г. Гагарин, К.А. Дмитриев // Строительные материалы. - 2013. - №6. - С.14-16.
6. Умнякова, Н.П. Повышение энергоэффективности зданий за счет повышения теплотехнической однородности наружных стен в зоне сопряжения с балконными плитами / Н.П. Умнякова, Т.С. Егорова, В.Е. Черкас, П.Б. Белогуров, К.С. Андрейцева // Строительные материалы. - 2012. - №6. - С. 17-19.
7. Умнякова, Н.П. Новое конструктивное решение сопряженных наружных стен с монолитными междуэтажными перекрытиями и балконными плитами / Н.П. Умнякова, Т.С. Егорова, К.С. Андрейцева, В.А. Смирнов, В.А. Лобанов // Строительные материалы. - 2013. - №6. - С. 28-31.
8. Кузнецов, А.В. Утепление узлов сопряжения стен с диском перекрытия в монолитных домах // Жилищное строительство. - 2013. - №8. - С. 32-35.
9. Данилов, Н.Д. Анализ влияния угловых стыков на теплопотери наружных стен / Н.Д. Данилов, П.А. Федотов // Жилищное строительство. - 2014. - №6. - С.3-7.
10. Данилов, Н.Д. Оптимальное утепление стыка стен каркасно-монолитных зданий с проветриваемыми подпольями / Н.Д. Данилов, А.А. Собакин, П.А. Федотов // Жилищное строительство. - 2016. - №6. - С.28-31.
11. Данилов, Н.Д. Теплоэффективное решение углового соединения цокольного перекрытия и стены с холодными подпольями / Н.Д. Данилов, П.А. Федотов // Жилищное строительство. - 2012. - №2. - С.1-2.

**Корнилов Терентий Афанасьевич**

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск  
Доктор технических наук  
E-mail: [kornt@mail.ru](mailto:kornt@mail.ru)

**Кычкин Игорь Романович**

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск  
Аспирант  
E-mail: [kornt@mail.ru](mailto:kornt@mail.ru)

**Овчинникова Ольга Николаевна**

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск  
Магистрант  
E-mail: kornt@mail.ru

---

T. KORNILOV, I. KYCHKIN, O. OVCHINNIKOVA

## INCREASE IN A THERMAL INSULATION OF BASEMENT FLOOR OF FRAME-MONOLITHIC BUILDINGS WITH VENTILATED CELLARS

*Established the main reasons for loss of warmth through basement floor of frame-monolithic buildings. Developed efficient design solutions of connections of external and internal walls to basement floor of frame-monolithic buildings taking into account climatic features of Far North and experience of construction of buildings. New method with using the multistage heat-insulating insert from the concrete blocks with low heat conductivity is offered. By the presented version of the design decision it is taken out a useful model patent "Structural connection of the enclosure design and basement floor over the cold and vented crawl space". Results of the analysis of temperature profiles for connections of external and internal walls with basement floor, are presented. Calculations of specific losses of warmth through connection of walls with basement floor depending on various parameters, are executed.*

**Keywords:** thermal shielding, temperature fields, heat leakage, wall, basement floor, autoclaved aerated concrete.

## BIBLIOGRAPHY

1. Gagarin, V.G. O normirovaniy teplozashchity i trebovaniya raskhoda energii na otopleniye i ventilyatsiyu v proyekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP «Teplovaya zashchita zdaniy» / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Vest-nik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i ar-khitektura. - 2013. - №31-2 (50). - S.468-474.
2. Gagarin V.G. Teoreticheskiye predposylki rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache ogran-zhdayushchikh konstruktsiy / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Stroitel'nyye materialy. - 2010. - №12. - S.4-12.
3. Gagarin, V.G. Uchet teploprovodnykh vklyucheniy i ventiliruyemoy prosloyki pri raschetakh soprotivleniya teploperedache steny s navesnoy fasadnoy sistemoy / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov, K.I. Lushin // Stroi-tel'nyye materialy. - 2016. - №6. - S 32-35.
4. Krivoshein, A.D. K voprosu o raschete privedennogo soprotivleniya teploperedache / A.D. Krivoshein, S.V. Fedorov // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. - 2010. - № 8 (18). - S.21-27.
5. Gagarin, V.G. Uchet teplotekhnicheskikh neodnorodnostey pri otsenke teplozashchity ogran-zhdayushchikh konstruktsiy v Rossii i yevropeyskikh stranakh / V.G. Gagarin, K.A. Dmitriev // Stroitel'nyye materialy. - 2013. - №6. - S.14-16.
6. Umnyakova, N.P. Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy za schet povysheniya teplotekhnicheskoy odnorodnosti naruzhnykh sten v zone sopryazheniya s balkonnymi plitami / N.P. Umnyakova, T.S. Yegorova, V.Ye. Cherkas, P.B. Belogurov, K.S. Andreytseva // Stroitel'nyye materialy. - 2012. - №6. - S. 17-19.
7. Umnyakova, N.P. Novoye konstruktivnoye resheniye sopryazhennykh naruzhnykh sten s monolitnymi mezhdu-etazhnymi perekrytiyami i balkonnymi plitami / N.P. Umnyakova, T.S. Yegorova, K.S. Andreytseva, V.A. Smirnov, V.A. Lobanov // Stroitel'nyye materialy. - 2013. - №6. - S. 28-31.
8. Kuznetsov, A.V. Utepleniye uzlov sopryazheniya sten s diskom perekrytiya v monolitnykh domakh // Zhilishch-noye stroitel'stvo. - 2013. - №8. - S. 32-35.
9. Danilov, N.D. Analiz vliyaniya uglovyykh stykov na teplopoteri naruzhnykh sten / N.D. Danilov, P.A. Fedotov // Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2014. - №6. - S.3-7.
10. Danilov, N.D. Optimal'noye utepleniye styka sten karkasno-monolitnykh zdaniy s provetrivayemymi podpol'yami / N.D. Danilov, A.A. Sobakin, P.A. Fedotov // Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2016. - №6. - S.28-31.
11. Danilov, N.D. Teploeffektivnoye resheniye uglovogo soyedineniya tsokol'nogo perekrytiya i steny s kholodnymi podpol'yami / N.D. Danilov, P.A. Fedotov // Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2012. - №2. - S.1-2.

### T. Kornilov

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk  
Doctor of Sciences (Engineering)  
E-mail: [korn@mail.ru](mailto:korn@mail.ru)

### I. Kychkin

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk  
Postgraduate student  
E-mail: [kychkin@inbox.ru](mailto:kychkin@inbox.ru)

### O. Ovchinnikova

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk  
Graduate student  
E-mail: [Olga\\_ovchinnikova\\_94@mail.ru](mailto:Olga_ovchinnikova_94@mail.ru)

УДК 534.833.522.4

КОЧКИН А.А., КОЧКИН Н.А., КИРЯТКОВА А.В.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ВИБРОДЕМПФИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НИХ

*Приведены результаты исследований физико-механических характеристик слоев вибродемпфированных светопрозрачных элементов и параметров ограждений из этих элементов на звукоизолирующую способность. Показано, что для повышения звукоизоляции светопрозрачных ограждений можно использовать в качестве прозрачных элементов слоистые конструкции, состоящие из стекол, соединенных между собой светопрозрачными вибродемптирующими мастиками. Выполненный анализ указывает на значительные резервы возможного повышения звукоизоляции за счет целенаправленного проектирования светопрозрачных слоистых ограждений путем соответствующего подбора параметров слоистых элементов и физико-механических характеристик материалов, входящих в их состав. Проведены исследования по оценке влияния коэффициента потерь, динамического модуля упругости вибродемптирующего слоя и динамического модуля упругости наружных слоев на звукоизоляцию слоистых светопрозрачных элементов. Показано повышение звукоизоляции слоистых вибродемпфированных элементов по сравнению с однослойными, равными по поверхностной плотности, за счет повышения коэффициента потерь и смещения граничной частоты волнового совпадения в область высоких частот.*

**Ключевые слова:** звукоизоляция, светопрозрачный слоистый вибродемпфированный элемент, динамический модуль упругости, коэффициент потерь.

Большинство светопрозрачных наружных и внутренних ограждающих конструкций зданий выполняются из обычного однослойного силикатного стекла. Звукоизоляция таких конструкций достаточно хорошо исследована [1-5].

В последнее время в практике применения светопрозрачных конструкций в оконных и витринных заполнениях начинают использоваться слоистые конструкции, состоящие из стекол, соединенных между собой различными материалами. Целью применения таких конструкций является в основном повышение прочности светопрозрачных конструкций, безопасности их эксплуатации, уменьшение прохождения теплового потока через ограждение и выполнение других заданных требований. Слабым местом светопрозрачных ограждений, как наружных ограждающих конструкций, является их относительно низкая звукоизолирующая способность. Выполненный нами анализ показывает, что для повышения звукоизоляции светопрозрачных ограждающих конструкций можно использовать в качестве прозрачных элементов слоистые конструкции, состоящие из стекол, соединенных между собой светопрозрачными вибродемптирующими мастиками и материалами. Выполненный предварительный анализ указывает на значительные резервы возможного повышения звукоизоляции за счет целенаправленного проектирования светопрозрачных слоистых ограждений путем соответствующего подбора параметров слоистых элементов и физико-механических характеристик материалов, входящих в их состав.

Светопрозрачные элементы из двух стекол с промежуточным вибродемптирующим слоем могут использоваться в оконных и витринных заполнениях в качестве элементов, обеспечивающих более высокую звукоизолирующую способность по сравнению с обычными однослойными стеклами равной поверхностной плотности. Звукоизолирующая способность таких листовых элементов существенным образом зависит от динамического модуля упругости и коэффициента потерь вибродемптирующего слоя и его толщины. На их звукоизоляцию может оказывать также влияние толщина листов стекол и их возможная разность по толщине в одном элементе.

При исследовании влияния коэффициента потерь и динамического модуля упругости вибродемптирующего слоя на звукоизоляцию трехслойных элементов исследовались слоистые вибродемпфированные элементы из стекол толщиной 4 мм, а также вибродемптирующий материал из поливинилбутираля и нафталана с толщиной слоев 0,6 и 1 мм.

Установлено, что частотные зависимости динамических характеристик слоистых вибродемпированных элементов в значительной мере зависят от коэффициента потерь и динамического модуля упругости вибродемпирующего слоя, при этом величина влияния этих характеристик во многом определяется соотношением этих характеристик для вибродемпирующего слоя и стекол в составе конструкции. Силикатное стекло по сравнению со слоистым вибродемпирующим элементом имеет коэффициент потерь на порядок ниже, при этом модуль упругости его значительно выше [6,7].

Сравнение частотных характеристик звукоизоляции этих конструкций (рисунок 1,2) показывает, что такое существенное изменение характеристик в слоистом элементе повышает звукоизоляцию в области граничной частоты волнового совпадения и выше на 5÷10 дБ, наибольшее повышение наблюдается на граничной частоте волнового совпадения. Далее на более высоких частотах повышение составляет порядка 5 дБ. Для стекла «триплекс» (рисунок 1), состоящего из двух силикатных стекол толщиной по 2,5 мм, и прослойки из поливинилбутираля толщиной 0,6 мм соединение стекол поливинилбутиралем приближает граничную частоту волнового совпадения указанного элемента к граничной частоте волнового совпадения однослойного ограждения толщиной, равной общей толщине слоистого элемента. Следовательно, наличие вибродемпирующих слоев улучшает звукоизоляционные качества светопрозрачных ограждений, особенно в наиболее проблемных зонах (с граничной частотой волнового совпадения) тонких ограждающих конструкций.

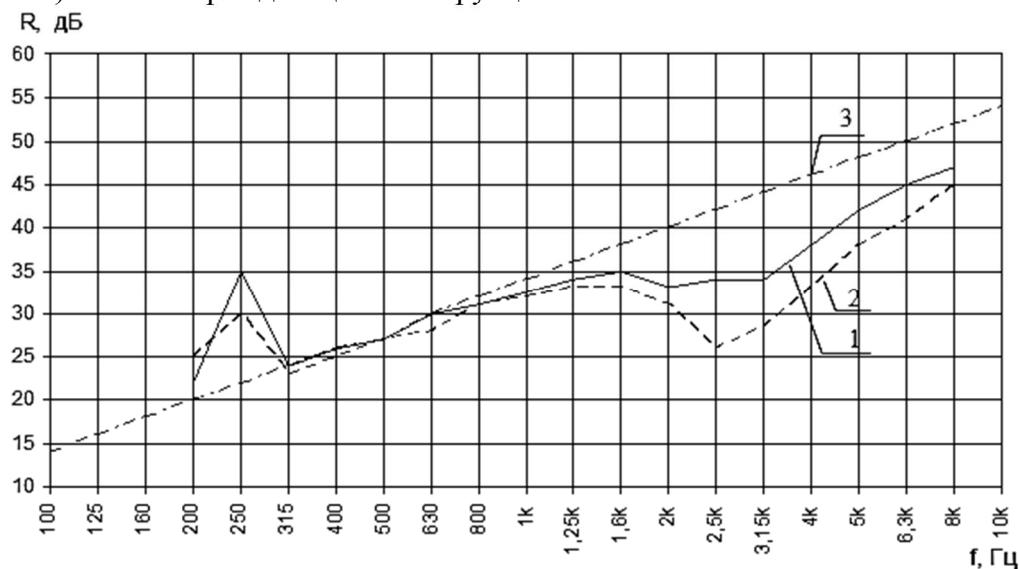
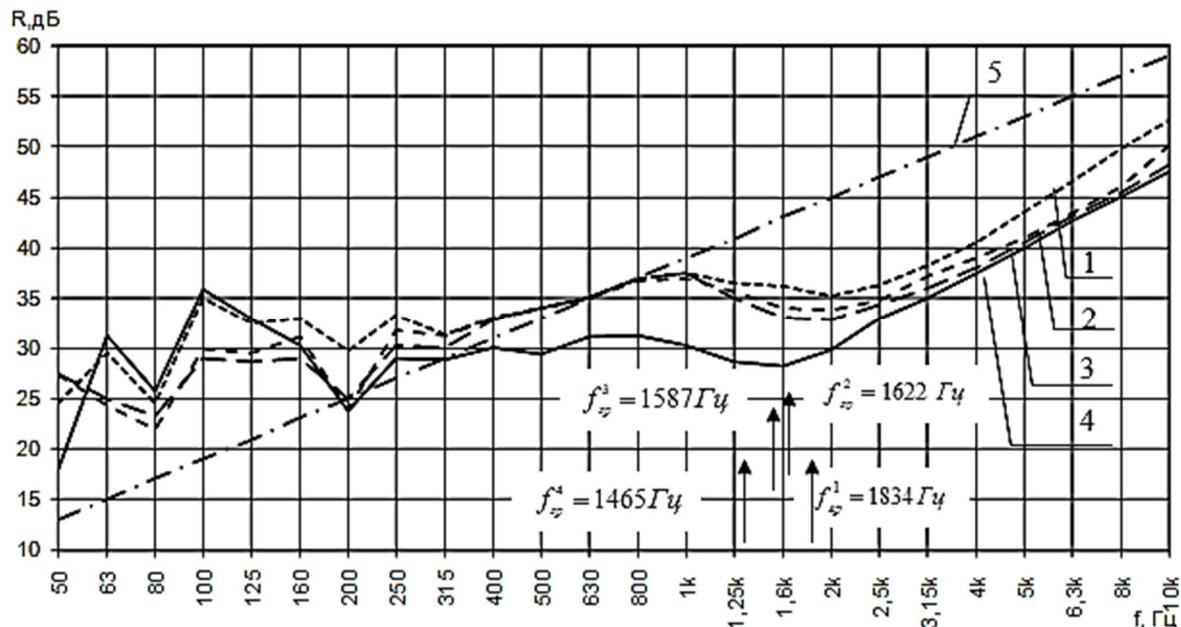


Рисунок 1 - Частотные характеристики звукоизоляции ограждений: 1 – трехслойное, состоящее из двух наружных листов силикатного стекла толщиной по 2,5 мм и прослойки из бутвела толщиной 0,6 мм,  $\mu=12,5 \text{ кг/м}^2$ ; 2 – силикатное стекло толщиной 5 мм,  $\mu=11,6 \text{ кг/м}^2$ ; 3 – закон массы

Коэффициент потерь и динамический модуль упругости вибродемпирующего материала в процессе эксплуатации могут изменять свои свойства под воздействием ультрафиолетового облучения. Изменение этих характеристик может оказывать негативное влияние на звукоизоляцию светопрозрачных элементов. Для оценки степени этого влияния был проведен специальный эксперимент на элементах, состоящих из двух листов силикатного стекла толщиной 4 мм и прослойки из нафталана толщиной 1мм. Измерения звукоизоляции проводили с разницей во времени в 5-6 лет (2005, 2010 и 2016 годы). В этот период элементы подвергались природному ультрафиолетовому воздействию. Получено, что коэффициент потерь за этот период времени уменьшился, а модуль упругости возрос. На рисунке 2 приведены частотные характеристики звукоизоляции элементов.

Видно, что снижение коэффициента потерь и повышение динамического модуля упругости привело к снижению звукоизоляционных качеств конструкций и смешению граничной частоты волнового совпадения в область более низких частот. Так для элемента, состоящего из двух листов силикатного стекла толщиной по 4 мм и прослойки из нафталана толщиной 1мм за 11 лет динамический модуль упругости нафталана увеличился с  $3,3 \times 10^7 \text{ Па}$  до  $6,7 \times 10^7 \text{ Па}$

Па, а граничная частота волнового совпадения снизилась с 1834 Гц до 1587 Гц. В то же время это снижение звукоизоляции не превышает 1 дБ, то есть слоистые светопрозрачные элементы могут эксплуатироваться достаточно продолжительное время в качестве звукоизолирующих конструкций без существенного снижения их звукоизоляции.



**Рисунок - 2 Частотные характеристики звукоизоляции ограждения, состоящего из двух наружных листов силикатного стекла толщиной по 4,0 мм и прослойки из нафталана толщиной 1,0 мм:**

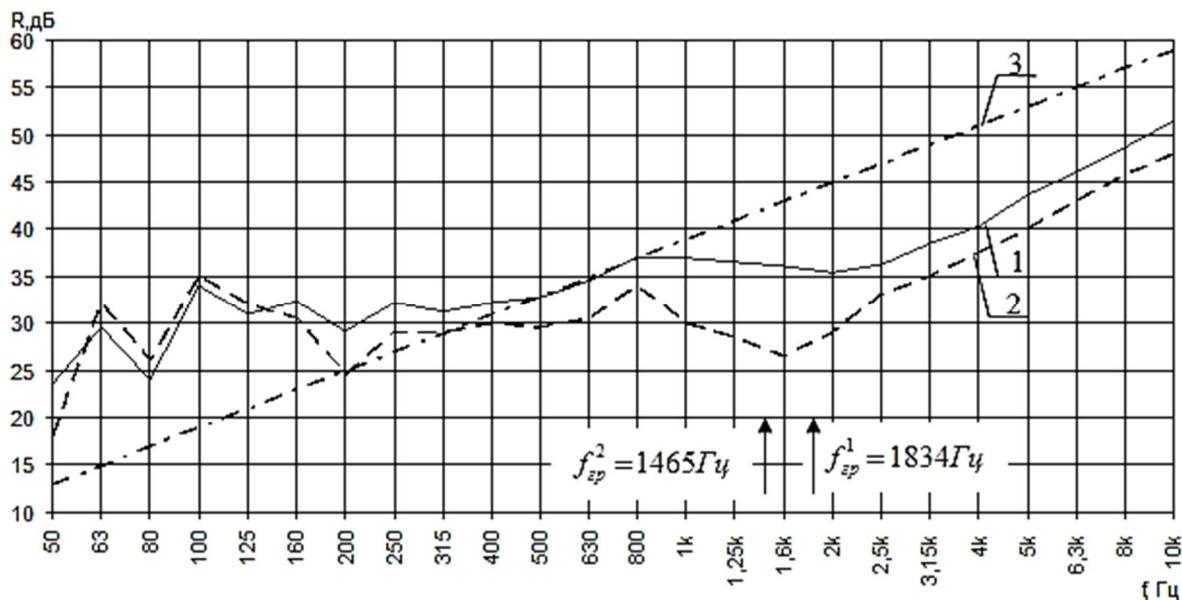
1 – измеренные в 2005 году,  $R_w=35\text{дБ}$ ; 2 – измеренные в 2010 году,  $R_w=35\text{дБ}$ ; 3 – измеренные в 2016 г.,  $R_w=34\text{дБ}$ ; 4 – стекло толщиной 8 мм,  $R_w=31\text{дБ}$ ; 5 – закон массы

Соотношение толщины стекол и вибродемптирующего слоя может оказывать влияние на звукоизолирующую способность элементов. В этой связи в работе был произведен анализ влияния толщины стекол на звукоизоляцию трехслойных элементов. Исследования выполнены при толщине листов стекла 4 мм в сравнении с толщиной 2,3 и 5 мм [6]. При этом толщина прослойки из нафталана оставалась постоянной и равной 1 мм. Частотные характеристики звукоизоляции элементов приведены на рисунке 3 и в работе [6]. Для сравнения на графиках приведены также частотные характеристики звукоизоляции сплошных элементов из стекла, с толщиной равной толщине двух слоев стекла. Из графиков видно, что разница в звукоизоляции элемента из силикатного стекла и звукоизоляции слоистого элемента достаточно существенна и достигает 8 дБ для тонких стекол с толщиной, равной 2 мм. При увеличении толщины стекла эффект влияния вибродемптирующего слоя снижается и составляет при толщине одного стекла слоистого ограждения, равной 5 мм, 3 дБ [6].

Следовательно, по сравнению со сплошными стеклами наиболее эффективными являются слоистые светопрозрачные элементы из тонких листовых материалов. При увеличении толщины стекол, что достаточно часто необходимо при больших площадях проемов, эффективность применения слоистых элементов по сравнению со сплошными стеклами снижается и, тем не менее, составляет величину не ниже 3 дБ. Это является весьма существенным вкладом в звукоизоляцию светопрозрачных ограждений. Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных показал, что теоретическая модель и расчетные формулы, полученные на ее основе, обеспечивают достаточную точность расчетов и адекватно реагируют на изменение физико-механических характеристик материалов и параметров слоистых элементов, а также на изменение параметров ограждающих конструкций, состоящих из этих элементов. Расчетные формулы могут быть использованы для эффективного проектирования ограждений из слоистых элементов [8-11].

Достаточно часто в практике проектирования и строительства применяются наружные ограждения, в которых наружные светопрозрачные заполнения могут быть выполнены из

сплошного стекла или из слоистых элементов. Принятые конструктивные решения могут оказывать определенное влияние на звукоизоляцию заполнений. Произведен сравнительный анализ конструктивных решений элементов заполнений на их звукоизоляцию. Рассматривались конструкции оконного заполнения с двумя стеклами толщиной по 4, 6, 8 и 10 мм, а также с двумя слоистыми элементами из двух стекол по 2, 3, 4 и 5 мм и прослойкой из нафталана толщиной 1 мм. Сравнение частотных характеристик звукоизоляции указанных элементов показывает, что конструкция со слоистыми элементами имеет более высокую звукоизоляцию практически во всем нормируемом диапазоне частот. Величина звукоизоляции при слоистых элементах выше в целом на 4 дБ, следовательно, конструкции светопрозрачных ограждений со слоистыми элементами имеют преимущества по звукоизоляции по сравнению с конструкциями, заполнение проемов которых выполнено из сплошного стекла.

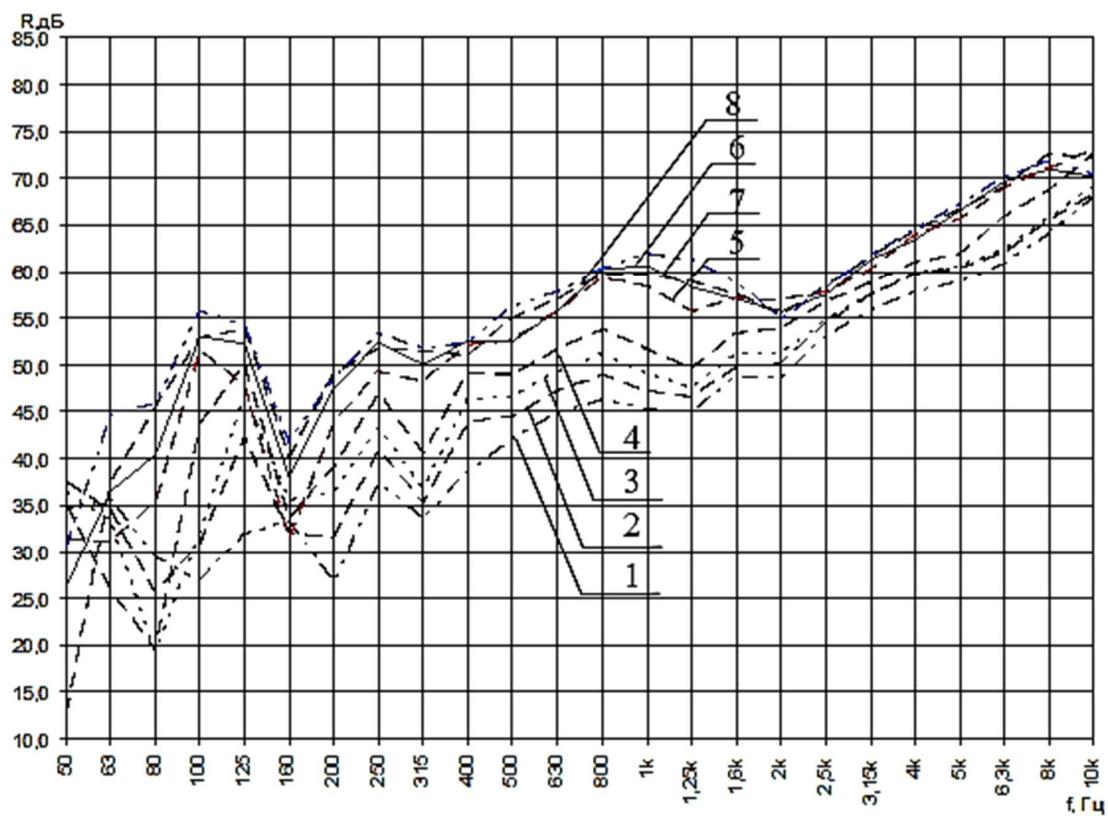


**Рисунок 3 - Частотные характеристики звукоизоляции ограждений:**  
 1 – трехслойное, состоящее из двух наружных листов силикатного стекла толщиной по 4,0 мм и прослойки из нафталана толщиной 1,0 мм,  $\mu=20,99 \text{ кг/м}^2$ ,  $R_W=35\text{дБ}$ ;  
 2 – силикатное стекло толщиной 8 мм,  $\mu=19,9 \text{ кг/м}^2$ ,  $R_W=31\text{дБ}$ ; 3 – закон массы

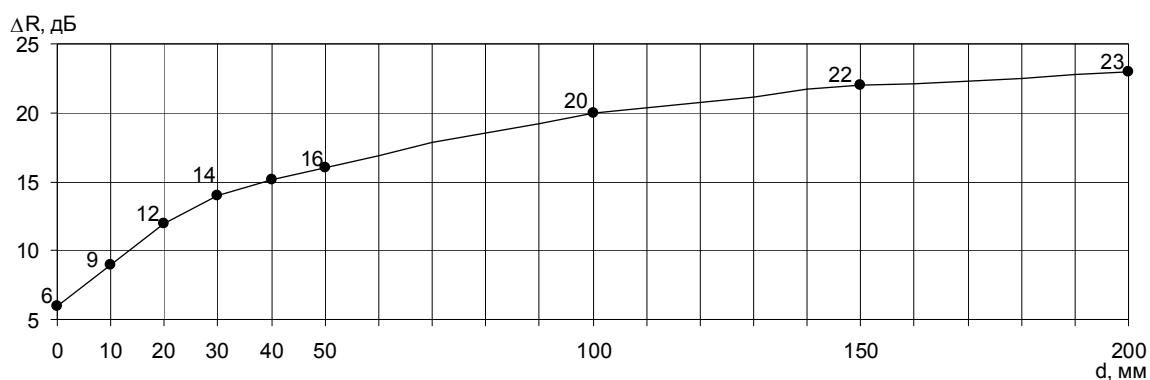
Известно, что звукоизоляция двойных ограждающих конструкций существенно зависит от толщины воздушного промежутка. Наличие воздушного промежутка повышает звукоизоляцию в определенных пределах. Вначале наблюдается существенный рост звукоизоляции, затем при увеличении толщины воздушного промежутка этот рост замедляется. Установлено, что наибольшая дополнительная звукоизоляция возникает при толщине воздушного промежутка в пределах 5-8 см.

В работе проведены исследования влияния толщины воздушного промежутка на повышение звукоизоляции ограждения из различных слоистых элементов. Рассматривались двойные конструкции из слоистых элементов без воздушного промежутка и конструкции с воздушным промежутком толщиной 10, 20, 30, 50, 100, 125, 150, 200 мм, т.е. с толщиной в зоне с наибольшей дополнительной звукоизоляцией. Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках 5,6. Установлено, что повышение звукоизоляции за счет воздушного промежутка составляет примерно 3÷5 дБ при толщине воздушного промежутка 50 мм и 7÷10 дБ при толщине 100 мм. Это повышение также зависит от собственной звукоизоляции отдельных элементов, например, при слоистых элементах со стеклами по 2 мм и по 5 мм и толщине вибродемптирующего слоя 1 мм разница в повышении дополнительной звукоизоляции составляет 3 дБ при толщине воздушного промежутка 50 мм и 5 дБ при толщине 100 мм.

Анализ частотных характеристик звукоизоляции показывает, что прирост звукоизоляции в основном наблюдается в зоне частот выше 250 Гц.



**Рисунок 5 - Частотные характеристики звукоизоляции двойного светопрозрачного ограждения из слоистых элементов, состоящих из двух силикатных стекол толщиной по 4,0 мм и прослойки из нафталана толщиной 1,0 мм, установленных с воздушным промежутком: 1 – 10 мм,  $R_w=44$  дБ; 2 – 20 мм,  $R_w=47$  дБ; 3 – 30 мм,  $R_w=49$  дБ; 4 – 50 мм,  $R_w=51$  дБ; 5 – 100 мм,  $R_w=55$  дБ; 6 – 125 мм,  $R_w=56$  дБ; 7 – 150 мм,  $R_w=57$  дБ; 8 – 200 мм,  $R_w=58$  дБ**



**Рисунок 6 - Дополнительная звукоизоляция двойного ограждения из слоистых вибродемптированных элементов, состоящих из двух листов силикатного стекла толщиной по 4,0 мм и прослойки из нафталана толщиной 1,0 мм в зависимости от толщины воздушного промежутка**

### Выводы

1. Проведены исследования по оценке влияния коэффициента потерь и динамического модуля упругости вибродемптирующего слоя и динамического модуля упругости несущих слоев на звукоизоляцию слоистых светопрозрачных элементов. С ростом коэффициента потерь вибродемптирующего слоя звукоизоляция повышается в диапазоне частот от 250 Гц и выше. Наибольшее повышение звукоизоляции наблюдается в зоне граничной частоты волнового совпадения и выше. При уменьшении динамического модуля упругости вибродемптирующего слоя граничная частота волнового совпадения смещается в область более высоких частот. За счет этого наблюдается дополнительный рост звукоизоляции. Величина этого роста зависит от соотношения динамических модулей упругости стекол и вибродемптирующего слоя и от толщины стекол.

2. Получено, что за 11 лет материалы вибродемпфирующего слоя могут изменять свои свойства под воздействием ультрафиолетового облучения (например, нафталан). Звукоизоляция в этом случае может снижаться за счет одновременного роста динамического модуля упругости и снижения коэффициента потерь вибродемпфирующего материала. Однако, как показывают выполненные исследования, это снижение незначительно, и такие конструкции могут эксплуатироваться достаточно продолжительное время без существенного снижения их звукоизоляционных качеств.

3. Установлено, что по сравнению с элементами из сплошных стекол наиболее эффективными являются светопрозрачные элементы с вибродемпфирующими слоями, состоящими из тонких листовых материалов. При увеличении толщины листов эффективность таких конструкций в сравнении с обычными стеклами снижается и, тем не менее, составляет величину не менее 3 дБ. Это в ряде случаев является достаточным для требуемого повышения звукоизоляции светопрозрачных ограждений.

4. К светопрозрачным наружным ограждениям предъявляются различные требования: тепло-звукозащита, воздухопроницаемость, ветровые нагрузки, пропускание света (прямого и отраженного), электромагнитного воздействия, возможность проветривания и другие. Этими отдельными вопросами занимаются различные научные школы. Необходимо комплексное исследование светопрозрачных ограждений под общим руководством Научно-исследовательского института строительной физики.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леденев, В.И. О комплексных исследованиях оконных заполнений как элементов оболочки здания по условиям обеспечения ими светового, инсоляционного, теплового, шумового режимов и электромагнитной безопасности в гражданских зданиях / В.И. Леденев, И.В. Матвеева, О.О. Федорова // Приволжский научный журнал. - 2017. - № 1 (41). - С. 20-26.
2. Самохвалов, А.С. Влияние воздушного промежутка на звукоизоляцию окон в раздельных переплетах / А.С. Самохвалов, С.Н. Овсянников // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Наука и образование в жизни современного общества»: в 18 частях. 2013. С. 149-152.
3. Овсянников, С.Н. Окна в раздельных переплетах в высокой теплозвукоизоляции / С.Н. Овсянников, А.С. Самохвалов // Строительные материалы. - 2012. - № 6. - С. 42-43.
4. Пузанков, А.Н. Исследование влияния краевого демпфирования светопрозрачных ограждений на их звукопроницаемость / А.Н. Пузанков, Д.Л. Щеголев // Строительные материалы. - 2012. - № 6. - С. 38-39.
5. Способ расчета звукоизоляции шумозащитных окон с однокамерным стеклопакетом / ВН. Бобылев, В.А. Тишков, Д.Л. Щеголев, Д.В. Мурыгин, А.Н. Пузанков // Приволжский научный журнал. - 2011. - № 4. - С. 40-45.
6. Кочкин, А.А. Звукоизоляция слоистых вибродемпфицированных элементов светопрозрачных ограждающих конструкций // Строительные материалы. - 2012. - № 3. - С. 40-41.
7. Кочкин, А.А. Исследование коэффициента потерь материалов и конструкций легких ограждений / А.А. Кочкин, Л.Э. Шашкова // Вестник МГСУ. - 2011. - Т. 1. - № 3. - С. 366-370.
8. Кочкин, А.А. О регулировании звукоизоляции слоистых вибродемпфицированных элементов / А.А. Кочкин, И.Л. Шубин, Н.А. Кочкин, А.В. Киряткова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - 2016. - № 4 (364). - С. 181-187.
9. Кочкин А.А., Шубин И.Л., Шашкова Л.Э., Кочкин Н.А. Проектирование звукоизоляции слоистых элементов конечных размеров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 4 (364). С. 161-167.
10. Кочкин, А.А. Расчет колебательной скорости и излучаемой мощности элементов конечных размеров в условиях различных резонансов / А.А. Кочкин, И.Л. Шубин, Н.А. Кочкин // Жилищное строительство. - 2016. - № 7. - С. 15-19.
11. Кочкин, А.А. О прохождении и излучении звука в слоистых вибродемпфицированных элементах / А.А. Кочкин, И.Л. Шубин, Н.А. Кочкин // Строительство и реконструкция. - 2016. - № 3(65). - С. 119-125.

**Кочкин Александр Александрович**

Вологодский государственный университет, г. Вологда  
Доктор технических наук, доцент кафедры  
«Промышленное и гражданское строительство»  
E-mail: [aakochkin@mail.ru](mailto:aakochkin@mail.ru)

**Кочкин Никита Александрович**

НИИСФ РААСН, г. Москва  
Аспирант  
E-mail: [vol.nikit@inbox.ru](mailto:vol.nikit@inbox.ru)

**Киряткова Анастасия Владимировна**

Вологодский государственный университет, г. Вологда  
Аспирант  
E-mail: [kira-anastasiya@yandex.ru](mailto:kira-anastasiya@yandex.ru)

A. KOCHKIN, N. KOCHKIN, A. KIRYATKOVA

## **RESEARCH OF SOUND INSULATION OF TRANSLUCENT VIBRODEMPFIROVANNY ELEMENTS I THE PROTECTING DESIGNS FROM THEM**

*The results of investigations of the physico-mechanical characteristics of the layers of vibrodamped translucent elements and the parameters of fences from these elements on the sound-insulating capacity are presented. It is shown that in order to increase the sound insulation of translucent enclosures, it is possible to use as laminated elements layered structures consisting of glasses interconnected by translucent vibrodamping mastics. The performed analysis indicates significant reserves of a possible increase in sound insulation due to the purposeful design of translucent layered enclosures by appropriate selection of the parameters of layered elements and the physico-mechanical characteristics of the materials included in their composition. Investigations were carried out to assess the effect of the loss factor, the dynamic modulus of the vibration damping layer, and the dynamic modulus of elasticity of the outer layers on the sound insulation of layered translucent elements. An increase in the sound insulation of layered vibrodamped elements is shown in comparison with single-layered, equal in surface density, due to an increase in the loss factor and the displacement of the cut-off frequency of wave coincidence to the region of high frequencies.*

**Keywords:** sound insulation, translucent layered vibrodempfirovanny element, dynamic module of elasticity, coefficient of losses.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Ledenev, V.I. O kompleksnykh issledovaniyakh okonnykh zapolneniy kak elementov obolochki zdaniya po uslovivayem obespecheniya imi svetovogo, insolvatsionnogo, teplovogo, shumovogo rezhimov i elektromagnitnov bezopasnosti v grazhdanskikh zdaniyakh / V.I. Ledenev, I.V. Matveyeva, O.O. Fedorova // Privilzhskiy nauchnyy zhurnal. - 2017. - № 1 (41). - S. 20-26.
2. Samokhvalov, A.S. Vlivanie vozduzhnogo promezhutka na zvukoizolatsiyu okon v razdel'nykh perepletakh / A.S. Samokhvalov, S.N. Ovsyannikov // Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnov nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauka i obrazovaniye v zhizni sovremennoho obshchestva»: v 18 chastyakh. 2013. S. 149-152.
3. Ovsyannikov, S.N. Okna v razdel'nykh perepletakh v vysokoy teplozvukoizolyatsiyey / S.N. Ovsyannikov, A.S. Samokhvalov // Stroitel'nyye materialy. - 2012. - № 6. - S. 42-43.
4. Puzankov, A.N. Issledovaniye vliyaniya krayevogo dempfirovaniya svetoprozrachnykh ograzhdeniy na ikh zvukopronitsayemost' / A.N. Puzankov, D.L. Shchegolev // Stroitel'nyye materialy. - 2012. - № 6. - S. 38-39.
5. Sposob rascheta zvukoizolatsii shumozashchitykh okon s odnomernym steklopaketom /VN. Bobylev, V.A. Tishkov, D.L. Shchegolev, D.V. Murygin, A.N. Puzankov // Privilzhskiy nauchnyy zhurnal. - 2011. - № 4. - S. 40-45.
6. Kochkin, A.A. Zvukoizolatsiya sloistykh vibrodempfirovannyy elementov svetoprozrachnykh ograzhdushchikh konstruktsiy // Stroitel'nyye materialy. - 2012. - № 3. - S. 40-41.
7. Kochkin, A.A. Issledovaniye koefitsienta poter' materialov i konstruktsiy legkikh ograzhdeniy / A.A. Kochkin, L.E. Shashkova // Vestnik MGSPU. - 2011. - T.1. - № 3. - S. 366-370.
8. Kochkin, A.A. O regulirovaniy zvukoizolatsii sloistykh vibrodempfirovannyy elementov / A.A. Kochkin, I.L. Shubin, N.A. Kochkin, A.V. Kiryatko // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. - 2016. - № 4 (364). - S. 181-187.
9. Kochkin A.A., Shubin I.L., Shashkova L.E., Kochkin N.A. Proyektirovaniye zvukoizolatsii sloistykh elementov konechnykh razmerov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. 2016. № 4 (364). S. 161-167.
10. Kochkin, A.A. Raschet kolebatel'noy skorosti i izluchayemoy moshchnosti elementov konechnykh razmerov v usloviyah razlichnykh rezonansov / A.A. Kochkin, I.L. Shubin, N.A. Kochkin // Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2016. - № 7. - S. 15-19.
11. Kochkin, A.A. O prokhozhdenii i izluchenii zvuka v sloistykh vibrodempfirovannyy elementakh / A.A. Kochkin, I.L. Shubin, N.A. Kochkin // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. - 2016. - № 3(65). - S. 119-125.

#### **A. Kochkin**

Vologda state university, Vologda  
Doctor of Engineering, associate professor "Industrial and civil engineering"  
E-mail: aakochkin@mail.ru

#### **N. Kochkin**

Research institute of construction physics of the RAACS, Moscow  
Graduate student  
E-mail: vol.nikit@inbox.ru

#### **A. Kiryatko**

Vologda state university, Vologda  
Graduate student  
E-mail: [kira-anastasiya@yandex.ru](mailto:kira-anastasiya@yandex.ru)

УДК 699.86+697.133

ОКУНЕВ А.Ю., ЛЕВИН Е.В., ШАГИНЯН К.С.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ОСНОВАНИИ ЗДАНИЯ С НЕОТАПЛИВАЕМЫМ ПОДВАЛОМ**

*С использованием нестационарного расчета температурных полей в основании проведен параметрический анализ теплопереноса из здания через перекрытие первого этажа здания с неотапливаемым подвалом. Тепловой баланс подвала определялся равенством теплопоступлений через перекрытие первого этажа и теплопотерями через подземную и надземную часть стен и через пол подвала. Исследованы влияния параметров утепления отдельных конструктивных элементов (перекрытия первого этажа, пола подвала, подземной и надземной части подвала, отмостки), геометрических параметров (глубины и ширины подвала, ширины отмостки) и влияния грунтовых вод (глубина грунтовых вод и их подвижность). В качестве целевого параметра использовано приведенное сопротивление теплопередаче наружному воздуху в установившемся режиме (период расчета порядка десятков лет). Расчеты проведены для климатических условий Московского региона.*

**Ключевые слова:** основание здания, теплоперенос, энергосбережение, утепление, нестационарный режим.

В настоящее время все большее внимание уделяется энергосбережению при эксплуатации зданий, в частности, определению и снижению теплопотерь через оболочку здания. Для этого по известным параметрам внутренней среды, наружного воздуха и элементов оболочки здания проводят теплотехнические расчеты ограждающих конструкций, кровли здания, также и натурные измерения фактических теплопотерь при вводе здания в эксплуатацию, в процессе его эксплуатации, а также на стадии капитального ремонта.

Существующая методическая база в РФ определения теплопотерь практически не затрагивает на должном уровне такого канала теплопотерь, как потери тепла через грунтовое основание здания.

Теплопотери через грунтовые основания могут составлять величины порядка 10-20% и более от общих теплопотерь. По мере повышения теплозащитных свойств надземной части здания, особенно для малоэтажных строений, теплоперенос через основание становится все более существенным по отношению к оболочке и, соответственно, возникает задача достоверного расчета теплозащиты и проектирования здания, находящихся в тепловом контакте с грунтом.

По сравнению с надземной части оболочки здания расчет тепловых потерь через грунтовое основание зданий является более сложной, однако решаемой задачей [1-6]. Основными причинами этого является то, что, если даже рассчитать величину термического сопротивления конструктивных элементов, контактирующих с основанием, то этого далеко недостаточно, поскольку теплопотери будут определяться не только этим сопротивлением, а также теплоотдачей в толщу грунта, а затем в воздух над поверхностью [7]. Кроме таких трансмиссионных теплопотерь наружному воздуху в грунте будут иметь место продолжительные т.н. «накопительные» теплопотери, возникающие за счет длительного прогрева грунта в глубине под зданием, а также постоянные теплопотери за счет отдачи тепла в грунтовые воды и на испарение поровой влаги. При сезонном промерзании и оттаивании грунта также будут иметь место периодические тепловыделения и теплопотери [8].

Трансмиссионные теплопотери наружному воздуху имеют нестационарный характер из-за сезонных колебаний температуры наружного воздуха и во многом определяются процессами переноса, а также накопления тепла в приповерхностных слоях за счет сравнительно высокой теплоемкости грунта.

С целью исследования процессов теплопереноса в различных конструкциях здание–основание разработана физико–математическая модель основанная на нестационарном расчете с применением сеточного метода [9]. Модель реализована с учетом сезонных изменений

наружной температуры воздуха, инерционности основания и теплопереноса в грунтовые воды. Исследования проведены с использованием двухмерной по координатам модели. Сведение трехмерной задачи к двухмерной может проводиться с помощью расчета эффективной полуширины здания по ISO [10].

В проведенных ниже исследованиях нестационарные наружные условия заданы плавным изменением температуры наружного воздуха между среднемесячными значениями характерными для Московского региона. В рамках настоящей работы исследования проведены для случая неотапливаемого подвала. Температура воздуха в подвале принимается постоянной по объему, но изменяющейся во времени, в то время как над перекрытием постоянно +20°C.

Для исследований использованы следующие параметры:

$C=2 \text{ МДж}/(\text{м}^3\text{К})$  – теплоемкость грунта основания/несущих элементов конструкции;

$\lambda=1,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  – теплопроводность грунта основания/ несущих элементов конструкции;

$\alpha_{in}=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$  – коэффициент теплоотдачи внутренних поверхностей;

$\alpha_{out}=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$  – коэффициент теплоотдачи наружных поверхностей;

Наружная температура принята изменяющейся по зависимости рис. 1.1.

При описании различных вариантов и параметров расчета использованы следующие обозначения:

$R_w$  – термическое сопротивление теплопередаче утепления стены подвала,  $(\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$ ;

$R_f$  – термическое сопротивление теплопередаче утепления пола подвала,  $(\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$ ;

$R_o$  – термическое сопротивление теплопередаче утепления отмостки,  $(\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$ ;

$\bar{R}_w$  – эффективное сопротивление теплопередаче грунтовым водам,  $(\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$ ;

$R_n$  – приведенное сопротивление теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом,  $(\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$ ;

$R_{nq}$  – приведенное сопротивление теплопередаче цоколя неотапливаемого подвала,  $(\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$ ;

$L_n$  – полуширина дома, м;

$L$  – ширина расчетной области, м;

$L_0$  – ширина утепленной отмостки, м;

$H_n$  – глубина подвала, м;

$H$  – глубина расчетной области (зеркала грунтовых вод), м;

$H_{nq}$  – высота цоколя подвала, м;

$b$  – толщина теплоизолированной стены выше уровня земли, м;

Температура воздуха в неотапливаемом подвале в среднем за отопительный период выше наружной. Для данного случая проведено исследование влияния утепления отмостки, глубины грунтовых вод, их подвижности (влияние подвижности грунтовых вод учитывается параметром  $\bar{R}_w$ , утепления стен и пола подвала).

Расчеты проведены при следующем наборе параметров:

$R_w = 0; R_f = 0; R_o = 0; \bar{R}_w = 0,01 (\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}; R_{nq} = 3 (\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}; R_n = 0,5 (\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$

$L_n = 7 \text{ м}; L = 20 \text{ м}; L_0 = 0; H_n = 2 \text{ м}; H = 20 \text{ м}; H_{nq} = 0; b = 0,4 \text{ м}$ , изменяя поочередно один из них с целью получения зависимостей. Расчетными параметрами являются величины сопротивлений передаче рассчитанные за отопительный период и полный год.

Графически результаты расчетов приведены на рис. 1 – 7.

Можно видеть (рис. 1), что сопротивление теплопередаче рассчитанное по среднему за год суммируется исходя из сопротивления обусловленного теплопередачей грунта и сопротивления теплопередаче перекрытия. Однако при рассмотрении отдельно отопительного периода эффективное значение сопротивления теплопередаче вырастает. В результате, к примеру, утепление перекрытия до  $R=5 (\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$  приводит к увеличению сопротивления теплопередаче перекрытия на 7  $(\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$ .

Утепление отмостки (рис. 2) приводит к ограниченному увеличению приведенного сопротивления теплопередаче, как рассчитанное по годовым теплопотерям, так и за отопительный период. Фактически, утепление отмостки с термическим сопротивлением выше 1  $(\text{К}\cdot\text{м}^2)/\text{Вт}$  не приводит к заметному эффекту (при ее ширине 1 м).

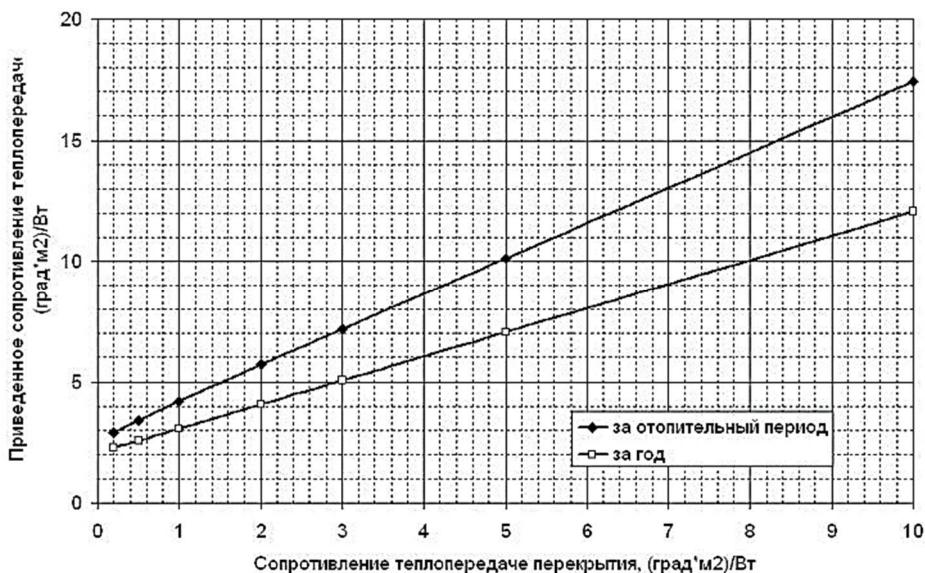


Рисунок 1 - Графики зависимости приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом в зависимости от утепления перекрытия

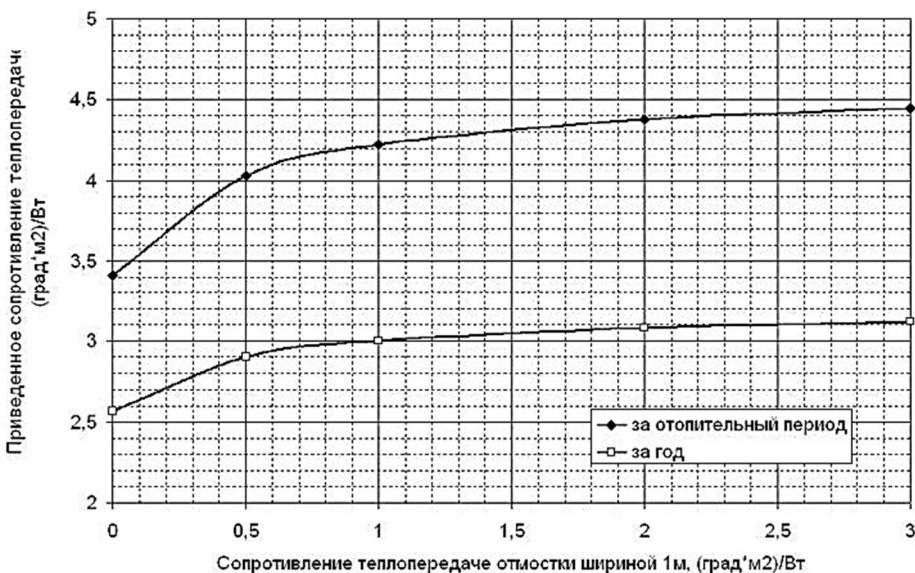


Рисунок 2 – Графики зависимости приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом в зависимости от утепления отмостки.

Скорость течения грунтовых вод, параметр  $\bar{R}_w$  относительно трудноопределим на практике. В результате остается свободный параметр, задаваемый в расчете. Влияние данного параметра изображено на рис 3. Видно, что при заданной глубине грунтовых вод равной 20м влияние значения  $\bar{R}_w$  невелико. При значениях параметра единицы и меньше фактически нет зависимости эффективного сопротивления теплопередаче перекрытия от значения данного параметра. При этом, значение  $\bar{R}_w$  на уровне 10 означает пограничный слой теплообмена в грунтовых водах толщиной около 20м. Для реализации такого значения  $\bar{R}_w$  водоносный слой должен обладать достаточной глубиной.

Если рассмотреть влияние уровня грунтовых вод высокой подвижности (см. рис. 4) то его влияние эффективного сопротивления теплопередаче оказывается достаточно существенно. При достаточно близких грунтовых водах возникает существенный постоянный во времени канал теплопотерь связанный с переносом тепла вниз в грунтовые воды.

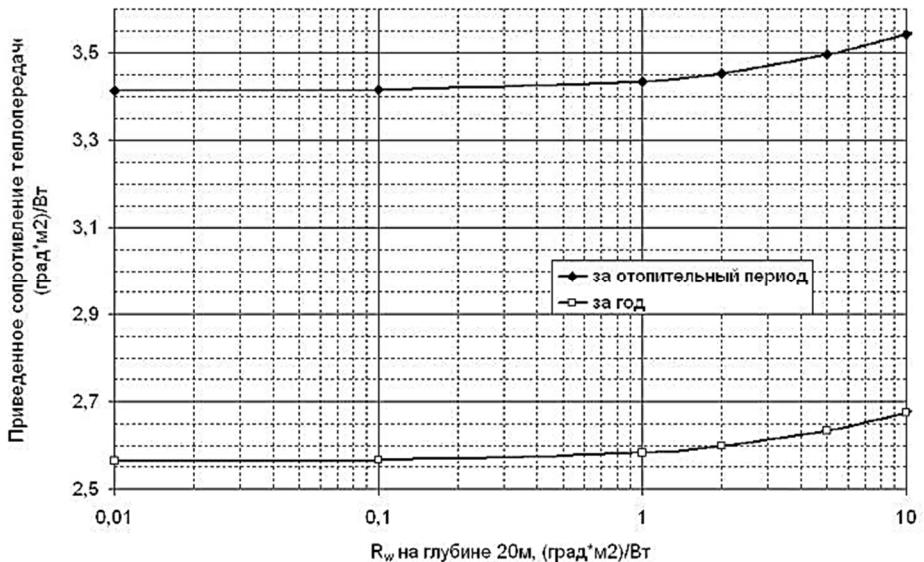


Рисунок 3 – Графики зависимости приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом в зависимости от параметра характеризующего скорость течения грунтовых вод

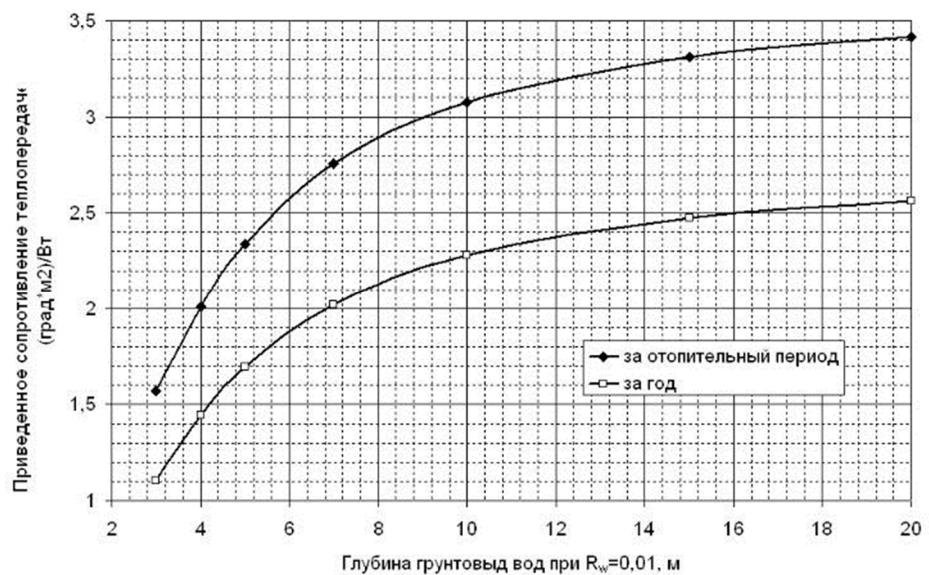


Рисунок 4 – Графики зависимости приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом в зависимости от глубины грунтовых вод

В базовой точке грунтовые воды достаточно глубоко (20м) в результате основные теплопотери связаны с теплопереносом через основание наружному воздуху. В результате оказывается достаточно эффективным утепление стены подвала, так как она расположена ближе к наружным условиям, чем пол подвала (расстояние оценивается по пути тепла в основании). В результате утепление стены подвала с  $R=1$  ( $K \cdot m^2$ )/Вт приводит к повышению эффективного сопротивления теплопередаче за отопительный период на 1,2( $K \cdot m^2$ )/Вт (рис. 5), затрачивается при этом в 3,5 раза меньше утеплителя, чем при утеплении перекрытия или пола подвала. При этом утепление только пола подвала на  $R=1$  ( $K \cdot m^2$ )/Вт без утепления стены повышает эффективную теплозащиту перекрытия лишь на ~0,1 ( $K \cdot m^2$ )/Вт при расчете за отопительный период (рис. 6).

Зависимость эффективного сопротивления теплопередаче перекрытия от одновременного утепления пола и стены подвала показано на рис. 7. Примечательным является тот факт, что в рассмотренном случае эффективное значение сопротивления теплопередаче при утепле-

нии пола и стены подвала оказывается чуть выше, чем при утеплении перекрытия с тем же термическим сопротивлением теплопередаче.

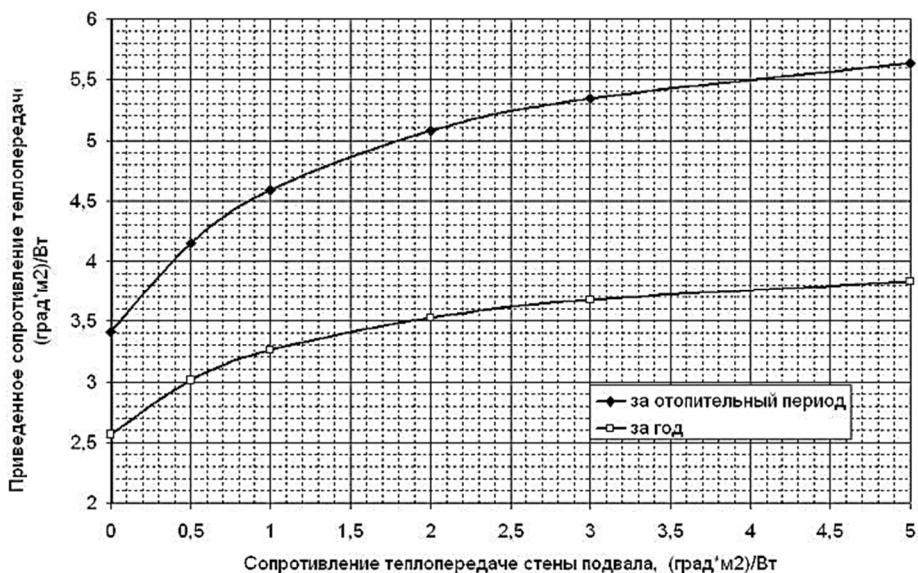


Рисунок 5 – Графики зависимости приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом в зависимости от утепления стены подвала

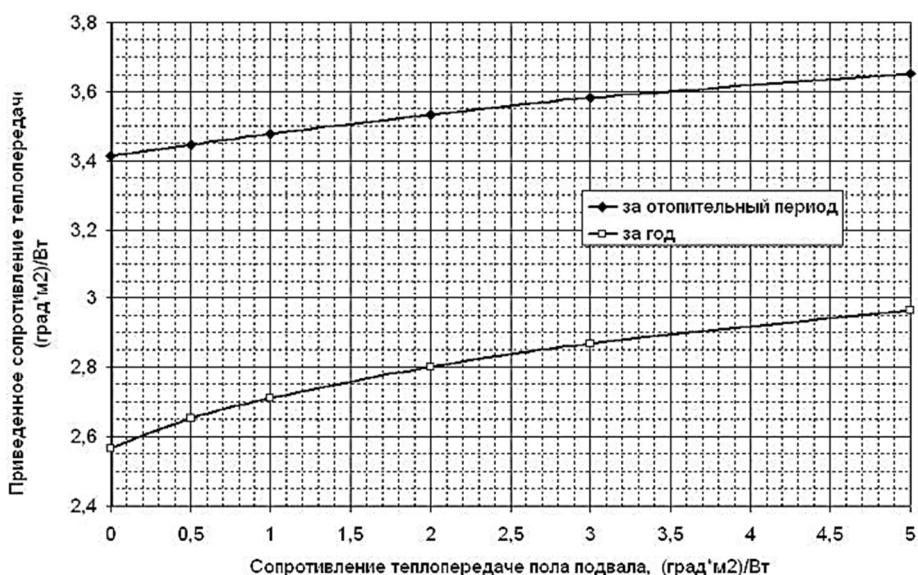
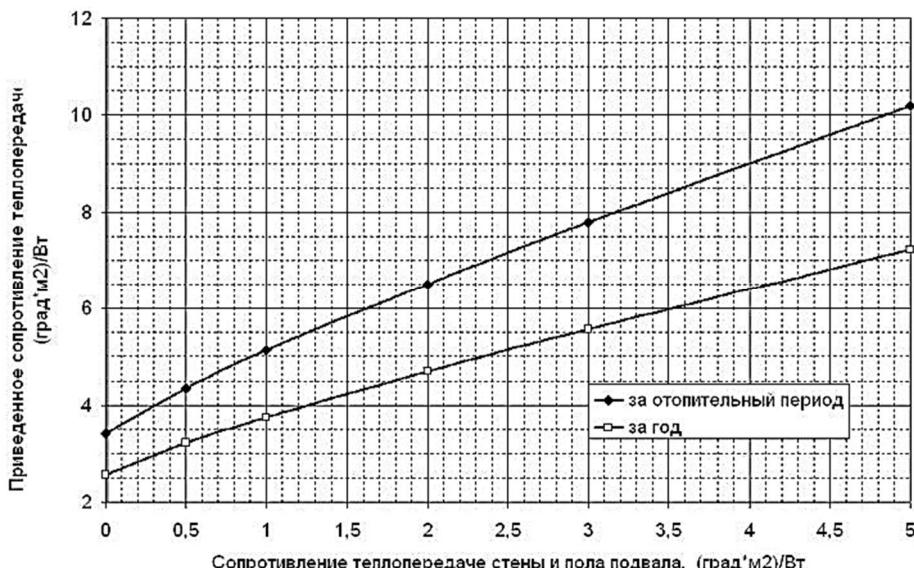


Рисунок 6 – Графики зависимости приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом в зависимости от утепления пола подвала

**Выводы.** Исследован нестационарный теплоперенос в основании неотапливаемого подвала с учетом влияния переменных наружных условий, наличия грунтовых вод, различных вариантов утепления конструкции. Климатические данные взяты характерные для московского региона. В качестве целевого параметра использовано приведенное сопротивление теплопередаче конструкции от внутреннего воздуха первого этажа наружному воздуху, рассчитанное за отопительный период и за полный год. Полученные значения за отопительный период существенно выше годовых (около 1,5 раз) для всех рассмотренных случаев, что связано с высокой инерционностью конструкции, приводящей к слабой зависимости тепловых потоков от текущих значений наружных температур. Для рассмотренного набора параметров по геометрии задачи и варианту утепления рассмотрены влияние отдельных факторов на теплоперенос.



**Рисунок 7 – Графики зависимости приведенного сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом в зависимости от утепления стены и пола подвала**

Установлено:

- утепление перекрытия линейно увеличивает приведенное сопротивление теплопередаче;
- утепление отмостки при ширине 1м дает заметный эффект при термическом сопротивлении теплопередаче до 1 (К<sup>\*</sup>м<sup>2</sup>)/Вт. Дальнейшее утепление незначительно снижает теплопотери;
- определено, что существенное влияние оказывает глубина грунтовых вод, на теплопотери в них. В случае высоких грунтовых вод становится целесообразным увеличение сопротивления теплопередаче пола подвала;
- при достаточно глубоких грунтовых водах (20 м), утепление стены подвала дает существенно больший эффект чем утепление пола подвала, так как основные теплопотери связаны с теплопереносом наружному воздуху от стены подвала, под отмосткой наружу.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.:ОНТИ, 1937.
2. Сотников, А.Г. Теплофизический расчет теплопотерь подземной части зданий // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2010. – № 4. – С.23-28.
3. Anderson B.R, Calculation of the steady-state heat transfer through a slab-on ground floor, Building and Environment, 1991. Vol. 26, pp. 405-415.
4. Walton G.N., Estimating 3-D heat loss from rectangular basements and slabs using 2-D calculations, ASHRAE Transactions, 1987. Vol. 93, pp. 791-797.
5. Макаревич, С.А. К расчету теплопотерь через полы зданий // Техника, технология, организация и экономика строительства.- Минск: Вышшая школа, 1990.- С.35-40.
6. Billington N.S., Heat loss through solid ground floors, Journal of Installation, Heating and Ventilation Engineers, 1951. Vol. 19, pp. 351-372
7. Hagentoft C-E. Heat Loss to the Ground from a Building. Slab on the ground and cellars./ 1988. Report TVBH-1004. Department of Building Technology/ Lund Institute of Technology, Sweden. 215 р.
8. Павлов, А.Р. Итерационная разностная схема для задачи тепломассопереноса при промерзании грунтов / А.Р. Павлов, М.В. Матвеева // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. - 2007. - №6(56). - С.242-253.
9. Окунев, А.Ю. Методы расчета теплопотерь через основания зданий и сооружений / А.Ю. Окунев, Е.В. Левин // Жилищное строительство. - 2016. - № 6. - С. 25–28.
10. European Committee for Standardization. Thermal Performance of Buildings—Heat Transfer Via the Ground—Calculation Methods. European Standard EN ISO 13370. Second edition. 2007-12-15.

**Окунев Александр Юрьевич**

НИИ строительной физики (НИИСФ РААСН), г.Москва  
Кандидат физико-математических наук,  
главный научный сотрудник  
E-mail: [aou@pochta.ru](mailto:aou@pochta.ru)

**Левин Евгений Владимирович**

НИИ строительной физики (НИИСФ РААСН), г.Москва  
Кандидат физико-математических наук, доцент  
по специальности, главный научный сотрудник  
E-mail: [aqwsrv@list.ru](mailto:aqwsrv@list.ru)

**Шагинян Карен Самвелович**

НИИ строительной физики (НИИСФ РААСН), г.Москва  
младший научный сотрудник  
E-mail: shks@list.ru

A. OKUNEV, E. LEVIN, K. SHAGINYAN

## **INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER VIA GROUND IN BUILDING WITH UNHEATED BASEMENT**

*With using non-steady calculation of temperature fields in ground have made parametric analysis of heat transfer from building through first floor slab over unheated basement. Heat balance defined as equality of heat transfer through first floor slab and through basement walls and floor. It is investigated influence of insulations (first floor slab, floor and walls of basement, blind area), geometric parameters (depth and width of the basement and width of the blind area) and of groundwater (depth and mobility). As the aim parameter used heat transfer resistance to outside air in steady state (calculation period about several decennaries). Simulations was made on example of Moscow region.*

**Keywords:** basement, heat transfer, energy saving, insulation, non-steady state.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Fokin K. F. Stroitel'naya teplotekhnika o grazhdanushchikh chastej zdaniy. – M.:ONTI, 1937.
2. Sotnikov, A.G. Teplofizicheskiy raschet teplopoter' podzemnoy chasti zdaniy // Teploenergoeffek-tivnyye tekhnologii. – 2010. – № 4. – S.23-28.
3. Anderson B.R, Calculation of the steady-state heat transfer through a slab-on ground floor, Building and Environment, 1991. Vol. 26, pp. 405-415.
4. Walton G.N., Estimating 3-D heat loss from rectangular basements and slabs using 2-D calculations, ASHRAE Transactions, 1987. Vol. 93, pp. 791-797.
5. Makarevich, S.A. K raschetu teplopoter' cherez poly zdaniy // Tekhnika, tekhnologiya, organizatsiya i ekonomika stroitel'stva.- Minsk: Vysheyshaya shkola, 1990.- S.35-40.
6. Billington N.S., Heat loss through solid ground floors, Journal of Installation, Heating and Ventilation Engineers, 1951. Vol. 19, pp. 351-372
7. Hagentoft C-E. Heat Loss to the Ground from a Building. Slab on the ground and cellars./ 1988. Report TVBH-1004. Department of Building Technology/ Lund Institute of Technology, Sweden. 215 p.
8. Pavlov, A.R. Iteratsionnaya raznostnaya skhema dlya zadachi teplomassoperenosha pri promezzanii grun-tov / A.R. Pavlov, M.V. Matveyeva // Vestnik SamGU. Yestestvennaya nauchnaya seriya. - 2007. - №6(56). - S.242-253.
9. Okunev, A.YU. Metody rascheta teplopoter' cherez osnovaniya zdaniy i sooruzheniy / A.YU. Okunev, Ye.V. Levin // Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2016. - № 6. - S. 25–28.
10. European Committee for Standardization. Thermal Performance of Buildings–Heat Transfer Via the Ground–Calculation Methods. European Standard EN ISO 13370. Second edition. 2007-12-15.

**A. Okunev**

Research institute of building physics (NIISF RAASN),  
Moscow  
Candidate of physico-mathematical science,  
chief researcher  
E-mail: [aou@pochta.ru](mailto:aou@pochta.ru)

**E. Levin**

Research institute of building physics (NIISF RAASN),  
Moscow  
Candidate of physico-mathematical science,  
assistant professor, chief researcher  
E-mail: [aqwsrv@list.ru](mailto:aqwsrv@list.ru)

**K. Shaginyan**

Research institute of building physics (NIISF RAASN), Moscow  
Junior researcher  
E-mail: [aqwsrv@list.ru](mailto:aqwsrv@list.ru)

УДК: 534.843

СУБОТКИН А.О., ЩИРЖЕЦКИЙ Х.А.

## РАСЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ФОНДА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ В ШУМНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

*На сегодняшний день документ СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная версия СНиП 23-03-2003» устанавливает нормы по уровню шума в помещениях различного назначения. Выполнение этих норм требует соответствие помещений определенным акустическим условиям, в том числе по времени стандартной реверберации RT60. Однако, документ не предъявляет требований к RT60 в залах кафе, ресторанов, производственных помещениях и в помещениях объемом менее 500 м<sup>3</sup> в принципе. Преследуя цель снизить шум до заданного уровня можно расчетным путем определить дополнительный фонд звукопоглощения, который необходимо внести в помещение.*

*В настоящей статье предложен метод расчета дополнительного фонда звукопоглощения, который необходимо внести в помещение для снижения уровня шума до нормативных значений*

**Ключевые слова:** акустические измерения, архитектурная акустика, защита от шума.

**Введение.** На сегодняшний день документ СП 51.13330.2011 «Защита от шума» [1] устанавливает нормы по уровню шума в помещениях различного назначения. Выполнение этих норм требует соответствие помещений определенным акустическим условиям, в том числе по времени стандартной реверберации RT60. Однако, документ [1] не предъявляет требований к RT60 в залах кафе, ресторанов, производственных помещениях и в помещениях объемом менее 500 м<sup>3</sup> в принципе. Преследуя цель снизить шум до заданного уровня можно расчетным путем определить дополнительный фонд звукопоглощения, который необходимо внести в помещение.

Преследуя цель снизить шум в помещении до заданного уровня можно расчетным путем определить дополнительный фонд звукопоглощения, который необходимо внести в помещение. Для этого потребуются следующие входные данные: карта шума, измеренное время стандартной реверберации, размеры помещения.

Методика расчета основывается на статистических представлениях о звуковом поле в помещении.

**Общие положения.** Предложенный расчет удобно проводить энергетическим методом.

Плотность звуковой энергии  $E_{изм}$  в каждой точке закрытого помещения, в котором располагаются источники звука, может быть представлена как:

$$E_{изм} = E_{пр} + E_{отр} \quad (1)$$

где  $E_{пр}$  – плотность прямой звуковой энергии от источника звука;

$E_{отр}$  – плотность отраженной звуковой энергии от поверхностей.

Используя известные соотношения [2, 4, 5, 6, 8], можно легко определить требуемую плотность звуковой энергии, которая бы соответствовала нормативным требованиям по уровню шума  $L_{норм}$  в помещении:

$$E_{норм} = \frac{\bar{p}_{норм}^2}{2\rho c_0^2} = \frac{p_0^2 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{норм}}}{2\rho c_0^2} \quad (2)$$

Разница  $\Delta E$  между (1) и (2) будет соответствовать требуемому снижению звуковой энергии в точке измерений:

$$\Delta E = E_{изм} - E_{норм} \quad (3)$$

Снизить  $E_{пр}$  не всегда возможно, т.к. это требует уменьшения мощности и количества источников звука, проведение специальных мероприятий по звукоизоляции и т.д. Добиться

выполнения норм по шуму за счет количественного снижение  $E_{\text{отр}}$  (увеличивая фонд звукопоглощения в помещении) возможно при выполнении условия:

$$E_{\text{отр}} \gg \Delta E \quad (4)$$

**Методика расчета.** Для проверки (4), необходимо оценить количественное соотношение между  $E_{\text{пр}}$  и  $E_{\text{отр}}$ . Представим плотность прямой и отраженной звуковой энергии в виде [2, 3]:

$$E_{\text{пр}} = \frac{W_{\text{ак}} \cdot \Omega}{4\pi r^2 c_0} \quad (5)$$

$$E_{\text{отр}} = E_{\text{уст}}(1 - \bar{\alpha}) \quad (6)$$

$$E_{\text{уст}} = \frac{4 \cdot W_{\text{ак}}}{A \cdot c_0} \quad (7)$$

где  $E_{\text{уст}}$  – плотность звуковой энергии в установившемся режиме;

$W_{\text{ак}}$  – акустическая мощность источника звука;

$\Omega$  – коэффициент осевой концентрации (КОК) источника звука;

$\bar{\alpha}$  – средний коэффициент звукопоглощения;

$A$  – фонд звукопоглощения;

$r$  – расстояние от источника звука до точки измерений;

$c_0$  – скорость звука в воздухе.

$$\frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{отр}}} = \frac{\Omega \cdot B}{16 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (8)$$

$$B = \frac{\bar{\alpha}S}{1 - \bar{\alpha}} \quad (9)$$

где  $B$  – акустическая постоянная помещения,  $\text{м}^2$ .

*Для помещений с переменными источниками звука*

Известно, что  $R$  – радиус гулкости, который определяется следующим образом:

$$R = 0,35 \sqrt{\frac{\bar{\alpha}S}{1 - \bar{\alpha}}} = 0,35\sqrt{B} \quad (10)$$

Плотность прямой звуковой энергии  $E_{\text{пр}}$  уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния от источника. На расстояниях от источника звука  $r \gg R$  влияние прямой энергии составляет до 10-20%.

В залах ресторанов, кафе, спортивных залах и общественных помещениях основным источником шума являются посетители, количество которых может меняться, а расположение не является стационарным. В этом случае не имеет смысла моделировать звуковое поле точечными источниками.

Таким образом, с некоторыми допущениями можно сказать, что в гулких помещениях  $E_{\text{изм}} \cong E_{\text{отр}}$ , а значит условие (4) выполняется.

Рассчитать требуемый дополнительный фонд звукопоглощения  $\Delta A$ .

$$\frac{E_{\text{изм}}}{E_{\text{норм}}} = 10^{0,1(L_{\text{изм}} - L_{\text{норм}})} = \frac{B_{\text{норм}}}{B_{\text{изм}}} \quad (11)$$

Отсюда

$$B_{\text{норм}} = B_{\text{изм}} \cdot 10^{0,1(L_{\text{изм}} - L_{\text{норм}})} \quad (12)$$

При этом

$$B_{\text{изм}} = \frac{\bar{\alpha}_{\text{изм}} S}{1 - \bar{\alpha}_{\text{изм}}} ; \quad \bar{\alpha}_{\text{изм}} = \frac{0,164 \cdot V}{T_{\text{изм}} \cdot S} ; \quad A_{\text{изм}} = \frac{0,164 \cdot V}{T_{\text{изм}}} \quad (13)$$

Далее

$$\bar{\alpha}_{\text{норм}} = \frac{B_{\text{норм}}}{B_{\text{норм}} + S} ; \quad A_{\text{норм}} = \bar{\alpha}_{\text{норм}} \cdot S \quad (14)$$

Как итог, находим требуемый дополнительный фонд звукопоглощения:  
 $\Delta A = A_{\text{норм}} - A_{\text{изм}}$

*Для помещений со стационарными источниками звука*

В помещениях с большим радиусом гулкости R и стационарно расположеннымми источниками звука соотношение между прямой и отраженной энергией (8) будет сильно зависеть от выбранной в помещении точки приёма сигнала. В таких условиях  $E_{\text{изм}} \neq E_{\text{отр}}$  и необходима проверка условия (4).

Для расчета по формулам (5, 6) необходимо иметь все входные данные (см. введение), расстояние от точек измерений до источников звука в помещении, а также данные о них (паспортную мощность, КОК, направление акустической оси и т.д.). На практике данные об источниках звука и точных местах их расположения известны далеко не всегда (например, конвейерная линия). В этом случае звуковое поле возможно смоделировать, используя точечные ненаправленные источники звука.

Примем  $E_{\text{изм}} = E_{\text{уст}}$  и предварительно определим суммарную акустическую мощность источников звука по (7):

$$W_{\text{ак}} = \frac{E_{\text{уст}} \cdot A \cdot c_0}{4} \quad (15)$$

После этого подберем расположение каждого источника звука в помещении и их мощности таким образом, чтобы измеренные значения плотности энергии совпадали с рассчитанными значениями по формулам (5, 6). Получив соотношение между  $E_{\text{пр}}$  и  $E_{\text{отр}}$  (стационарный режим) определим необходимый дополнительный фонд:

$$\begin{aligned} \Delta E &= (E_{\text{пр}} + E_{\text{отр}1}) - (E_{\text{пр}} + E_{\text{отр}2}) = E_{\text{отр}1} - E_{\text{отр}2} \\ \Delta E &= (4 \cdot W_{\text{ак}}) \cdot \left( \frac{1}{B_{\text{изм}}} - \frac{1}{B_{\text{норм}}} \right) \\ B_{\text{норм}} &= \frac{4 \cdot W_{\text{ак}}}{4 \cdot W_{\text{ак}} \cdot \frac{1}{B_{\text{изм}}} - \Delta E} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\bar{\alpha}_{\text{норм}} = \frac{1}{\left( \frac{4 \cdot W_{\text{ак}} \cdot \frac{1}{B_{\text{изм}}} - \Delta E}{4 \cdot W_{\text{ак}}} \cdot S + 1 \right)} \quad (17)$$

$$A_{\text{норм}} = \frac{S}{\left( \frac{4 \cdot W_{\text{ак}} \cdot \frac{1}{B_{\text{изм}}} - \Delta E}{4 \cdot W_{\text{ак}}} \cdot S + 1 \right)} \quad (18)$$

В итоге, находим требуемый дополнительный фонд звукопоглощения:

$$\Delta A = A_{\text{норм}} - A_{\text{изм}}$$

**Заключение.** Предложенный метод расчета требуемого дополнительного фонда звукопоглощения применим в любых помещениях, вне зависимости от их объема, функционального назначения, количества и расположения источников звука. Также, с помощью предложенного метода можно решить обратную задачу - рассчитать снижение шума при добавлении в помещение известной площади звукопоглотителя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная версия СНиП 23-03-2003.
2. Фурдуев, В.В. Электроакустика. – Л.: ОГИЗ, 1948.
3. Анерт, В. Основы техники звукоусиления / В. Анерт, В. Райхарт. - М: Радио и Связь, 1984.
4. Качеровиц А.Н. Акустика зрительного зала. – М.: Искусство, 1968.
5. Макриненко, Л.И. Акустика помещений общественных зданий. - М.: Стройиздат, 1984. – 173 с

6. Оболевский, Н.В. Архитектурная физика. – М.: Стройиздат, 1997.
7. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости. - М. Стройиздат. 1981.
8. Kuttruff H. Room acoustics. Applied Science Publishers LTD, London. 1979.
9. Barron M. Auditorium Acoustics and Architectural Design. Second Edition. Spon Press. London and New York, 2010.
10. Adelman-Larsen N.E., Thompson E.R., Gade A.C. (2010) Suitable reverberation times for the halls for rock and pop music. J. Acoust. Soc. Am. Vol.127, №1. pp. 247-255.

**Субботкин Антон Олегович**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г. Москва  
Аспирант, младший научный сотрудник лаборатории акустики залов  
тел.: +7 (916) 093-92-51, e-mail: [subov-an@yandex.ru](mailto:subov-an@yandex.ru).

**Щиржецкий Христофор Алексеевич**

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г. Москва  
Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории акустики залов

A. SUBBOTKIN, Ch. SCHIRJETSKY

### CALCULATION OF ADDITIONAL FUND OF SOUND ABSORPTION IN NOISY PLACES

*The document SP 51.13330.2011 "Noise protection" establishes standards for noise levels in various premises. Such compliance requires the compliance of premises to certain acoustic conditions, including a time-standard reverberation RT60. However, the document imposes no requirements on RT60 in the halls of cafes, restaurants, production areas and in areas with less than 500 m<sup>3</sup> in principle. In order to reduce the noise to the specified level can be calculated by identifying the supplementary Fund absorption, which is required in the room.*

*In this article the method of calculation of additional fund absorption, which is required in the place to reduce noise levels to standard values.*

**Keywords:** acoustic measurement, architectural acoustics, protection from noise.

### BIBLIOGRAPHY

1. SP 51.13330.2011. Zashchita ot shuma. Aktualizirovannaya versiya SNiP 23-03-2003.
2. Furduyev, V.V. Elektroakustika. – L.: OGIZ, 1948.
3. Anert, V. Osnovy tekhniki zvukousileniya / V. Anert, V. Raykhart. - M: Radio i Svyaz', 1984.
4. Kacherovich A.N. Akustika zritel'nogo zala. – M.: Iskusstvo, 1968.
5. Makrinenko, L.I. Akustika pomeshcheniy obshchestvennykh zdaniy. - M.: Stroyizdat, 1984. – 173 s
6. Obolevskiy, N.V. Arkhitekturnaya fizika. – M.: Stroyizdat, 1997.
7. Rukovodstvo po akusticheskemu proyektirovaniyu zalov mnogotselevogo naznacheniya sredney vremenosti. - M. Stroyizdat. 1981.
8. Kuttruff H. Room acoustics. Applied Science Publishers LTD, London. 1979.
9. Barron M. Auditorium Acoustics and Architectural Design. Second Edition. Spon Press. London and New York, 2010.
10. Adelman-Larsen N.E., Thompson E.R., Gade A.C. (2010) Suitable reverberation times for the halls for rock and pop music. J. Acoust. Soc. Am. Vol.127, №1. pp. 247-255.

**A. Subbotkin**

Research Institute of building physics of the RAACS, Moscow  
researcher of the laboratory of acoustics of the halls  
E-mail: [subov-an@yandex.ru](mailto:subov-an@yandex.ru).

**Ch. Schirjetsky**

Research Institute of building physics of the RAACS, Moscow  
leading researcher of the laboratory of acoustics of the halls  
Candidate of technical Sciences, leading researcher of the laboratory of acoustics of the halls

УДК 699.86

УЙМА А., ЛИС А.

## МОНИТОРИНГ РЕЗУЛЬТАТОВ УМЕНЬШЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЗДАНИИ ШКОЛЫ

*В статье представлены возможности повышения энергоэффективности типового здания школы в сельской местности. Мероприятия по модернизации самого здания и внутренних коммуникации в этом здании включали широкий спектр улучшений. В статье представлены реальные результаты термомодернизации на основе мониторинга его последствий в здании школы, учитывая период с 2011 по 2015 годы. Результаты могут быть характерны для данного типа зданий. Анализ включал в себя потребление энергии на нужды отопления, вентиляции и подогрев горячей воды и потребление электроэнергии в здании. Мониторинг результатов проведённой термомодернизации показал значительный эффект снижения энергопотребления, тем самым, расхода топлива и расходов на эксплуатацию здания и указал на ряд выгод от данного вида деятельности.*

**Ключевые слова:** комплексная термомодернизация, потребление энергии, энергосбережение

### Введение

Одним из способов повышения энергетической эффективности существующих зданий является проведение в них комплексной термомодернизации. Через комплексную термомодернизацию надо понимать проведение всякого рода мероприятий, которые представляют потенциальные возможности уменьшения расходования энергии. Оказывается что здания эксплуатируемые в Польше, как жилые, так и общественные, характеризуются большим потенциалом энергоэффективности. Анализ эффектов термомодернизации стандартного здания показывает что в соответствии с действующими правилами можно уменьшить в ним расход энергии до 40%. Наиболее возможности в повышении энергетической и экологической эффективности даёт уменьшение потребления тепла, природного газа, угля или другого топлива, электроэнергии и воды. В настоящее время энергоэффективность является одной из главных проблем широко обсуждаемых в стратегических документах, указывающих на одно из главных направлений развития государств-членов Европейского Союза. Стимулом для этих действий стало истощение природных энергетических ресурсов, зависимость от импорта и увеличение цен на топливо, а также высокий уровень загрязнения окружающей среды продуктами сгорания. Последний эффект на столько влияет на изменение климата Земли, что становится всё более значимым.

Загрязнение воздуха продуктами сгорания топлива при выработке энергии в Польше является основополагающим фактором повышения энергоэффективности народного хозяйства.

В Польше мероприятия по термомодернизации зданий проводятся уже более тридцати лет. В начале они были в основном направлены на обновление и устранение дефектов в зданиях, построенных в панельной технологии. После введения в действие Закона о поддержке термомодернизационных мероприятий, появились новые возможности для выполнения такого рода операций на системной основе, с некоторой финансовой поддержкой. Главным документом указывающим на целесообразность проведения термомодернизации является энергетический аудит. Это своего рода техно-экономический анализа инвестиции, в котором решающим критерием проведения термомодернизации является получение отдачи вложенных средств в результате финансовых эффектов от экономии энергии. Этот документ является своего рода нормативно-правовой основой для проведения комплексной термомодернизации.

Анализ реальных последствий термомодернизации проводится сравнительно редко. Должен быть выполнен на основе мониторинга расходования энергии и топлива на отопление, вентиляцию и подогрев горячей воды и расход электроэнергии.

Для анализа было выбрано здание школы с техническими характеристиками похожими на другие того типа объекты эксплуатируемые в Польше. В здании проводилась комплексная термомодернизация в 2010 году, а полученные результаты этой инвестиции включены были в мониторинг, в период с 2011 по 2015 год.

По оценке специалистов процесс реализации и эксплуатации зданий в Европейском Союзе сопровождается выбросом ок. 36% всех выбросов парниковых газов в атмосферу [1]. Кроме этого атмосферу европейских стран, особенно в восточной части континента, загрязняют выбросы из небольших зданий и котельни. В Польше тоже наблюдается такая ситуация, так называемая "низкая эмиссия" или "поверхностная эмиссия", связанная с выбросами при вырабатывании тепла для небольших зданий, главным образом жилых [2, 3].

### 1. Потребление энергии в Польше и Евросоюзе

Добыча первичных энергоносителей снизилась в Польше в 2014 году и составила 2853,8 ПДж. Потребление первичной энергии было выше, чем производство и составило 4320,5 ПДж в 2014 году [4]. Жилой фонд Европейского Союза насчитывает около 200 миллионов зданий, из которых 6 миллионов находится в Польше. На энергию, используемую в жилых зданиях приходится значительная доля общего потребления энергии в стране. Этот процент существенно зависит от степени электрификации, уровня урбанизации, величины жилой площади приходящей на душу населения, преобладающего климата, а также национальных и местных стратегий направленных на повышение энергоэффективности. Реализация и эксплуатация зданий, в среднем, в Евросоюзе в период 2009-2013 составила около 42% от общего потребления энергии. В Польше, это значение выше на ок. 7% [4, 5, 6]. Величина энергии потребляемая зданиями больше чем транспортными средствами и в промышленности. Здания отвечают также за использование около 25% мировой воды из водопроводов.

Потребление энергии в зданиях разделяется на системы: отопления, вентиляции, охлаждения, горячего водоснабжения, электроосвещения и электрооборудования. Структура потребления энергии в период 2009-2012 годов в жилых зданиях, в Польше, указана на рис. 1.

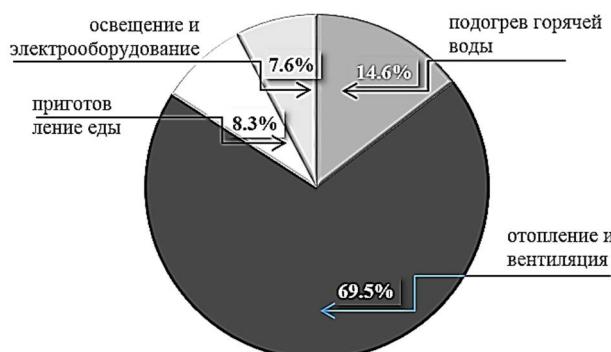


Рисунок 1 – Доли потребления энергии в жилых зданиях в Польше, в период 2006-2012 [7, 8]

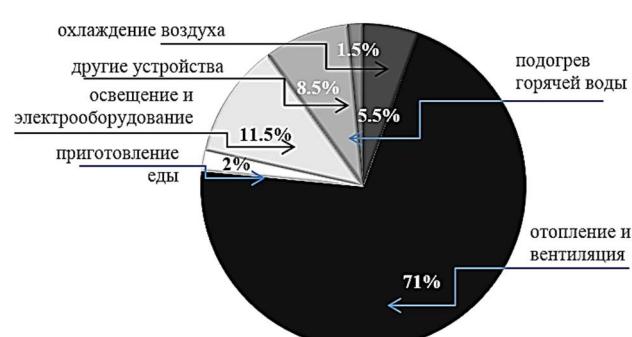


Рисунок 2 – Доли потребления энергии в общественных зданиях в Польше, в период 2006-2012 [7, 8]

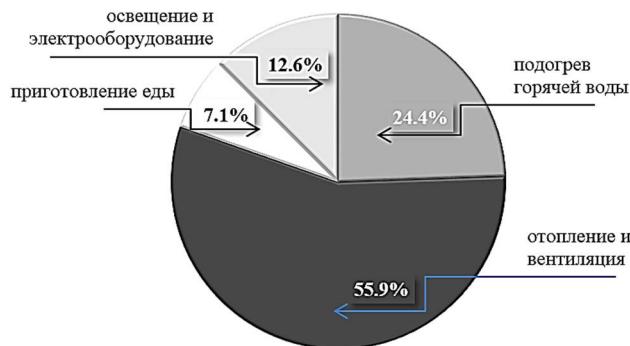
В общественных зданиях имеются немного другая структура потребления энергии (рис. 2). Появляется потребление энергии на нужды охлаждения воздуха, а потребление энергии для горячей воды значительно понижается.

В среднем, в Евросоюзе доля потребления энергии на отопление и вентиляцию значительно ниже, чем в Польше, особенно в общественных зданиях, но они потребляют больше энергии для подогрева горячей воды (рис. 3 и 4).

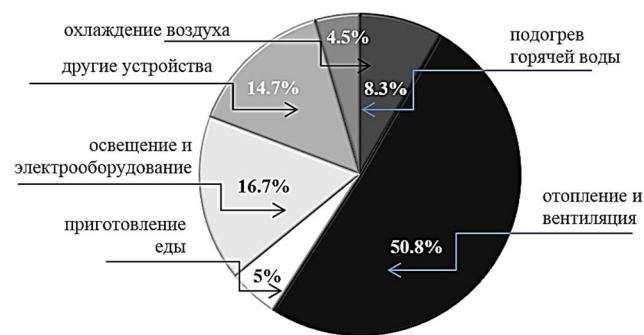
Структура потребления энергоносителей в Польше существенно не изменилась за последние годы. Снизилась в Польше добыча каменного угля, бурого угля, нефти, природного газа и других энергоносителей. Главным энергоносителем остается каменный уголь, доля использования которого составила в 2014 году, во всей экономике страны, ок. 40.4%. Доля нефти составила 23.8%, доля природного газа 14.1%, а бурого угля 12.0% от общего потребления энергоносителей [4].

Начиная с 2021 года все вновь возводимые здания должны характеризоваться очень низким потреблением энергии, при чем в основном происходящей из возобновляемых источников энергии. Стратегия развития возобновляемых источников энергии в Польше и Европейском Союзе предполагает увеличение доли возобновляемых источников энергии, в конечном итоге в среднем до 20% по всему ЕС. В связи с этим необходимо продвижение и реализация экологиче-

ски безопасных технологий, основанных на возобновляемых энергетических ресурсах и расширения сферы применения этих энергетических ресурсов. В Польше доля возобновляемых источников энергии в валовой продукции энергии постепенно увеличивается и в потреблении всей энергии в 2014 году составила 11,4% [11, 12].



*Рисунок 3 – Доли потребления энергии в жилых зданиях в Евросоюзе, в период 2006-2012 [9, 10]*



*Рисунок 4 – Доли потребления энергии в общественных зданиях в Евросоюзе, в период 2006-2012 [9, 10]*

## 2. Комплексная термомодернизация здания школы

Здание школы было построено в 1964 году, при использовании традиционных строительных технологий. Отсутствие теплоизоляции во внешних преградах, привело к тому, что здание не соответствовало нынешним строительным требованиям по тепловой защите и рациональному расходованию энергии. Следовательно привело это к значительным потенциям энергии и высоким эксплуатационным расходам. Здание школы до момента осуществления термомодернизации показана на рисунке 5.

В 2010 году была проведена комплексная термомодернизация здания, на основе выводов и в соответствии с рекомендациями вытекающими из энергоаудита. Главные модернизационные мероприятия относились к теплоизоляции внешних преград и замены некоторого оборудования и коммуникаций здания. Здание школы после термомодернизации показано на рисунке 6.

Мероприятия были направлены на повышение эффективности использования энергии на отопление и подогрев горячей воды. Перечень модернизационных мероприятий основан был также из научно-исследовательском опыте. Главные цели заключались в необходимости повышения энергоэффективности здания и его технических систем, снижении негативного воздействия на окружающую среду и улучшению внутреннего микроклимата. В последствии проведен мониторинг термомодернизации, начиная с 2011 года.



*Рисунок 5 – Общий вид школы до термомодернизации в 2006г.*



*Рисунок 6 – Общий вид школы после термомодернизации в 2011г.*

Изменение коэффициентов теплопередачи внешних преград здания школы приведено в таблице 1. Без изменений оставлен был коэффициент теплопередачи для пола на грунте, который нецелесообразно было модернизировать изза технических и экономических предпосылок.

Таблица 1 – Коэффициенты теплопередачи внешних преград здания школы до

и после термомодернизации и требуемые уровни этих параметров

Конструкция	Коэффициент $U_C$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)		Коэффициент $U_{Cmax}$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)	
	до	после	2010	2016
Внешняя стена	1.40	0.22	0.30	0.25
Вешнее перекрытие	0.68	0.16	0.25	0.20
Пол на грунте	0.63	0.63	0.45	0.30
Деревянные окна	3.00	1.40	1.80	1.30
Пластиковые окна	2.60	1.40	1.80	1.30
Внешние двери	3.50	2.50	2.60	1.70

Принятая на основе оптимализации в энергетическом аудите конструкция утепления внешних стен и перекрытий позволяет им соответствовать современным требованиям по теплоизоляции. Коэффициенты теплопередачи этих преград соответствуют допустимым уровням этих параметров, а для окон незначительно превышают эти значения. Утепление перегородок и замена окон и дверей вызвало значительное уменьшение потерь тепла.

Замена на основе энергоаудита котла работающего на каменном угле на новый газовый котёл и модернизация системы подогрева горячей воды позволила значительно повысить энергоэффективность системы отопления и снабжения горячей водой (табл. 2).

**Таблица 2 – Эффективность систем отопления и снабжения горячей водой до и после термомодернизации здания школы**

Эффективность составляющих компонентов системы поставляющей тепло	система отопления		система снабжения горячей водой	
	до	после	до	после
- выработки тепла	0.65	1.00	0.97	1.00
- передачи тепла	0.90	0.98	0.85	0.96
- аккумуляции тепла	0.93	0.97	0.67	0.86
- регуляции и использования тепла	0.85	0.98	1.00	1.00
- полная системы	0.46	0.93	0.55	0.83

Главные энергетические показатели здания школы до и после термомодернизации, определены на основе энергетического аудита представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Сравнение энергетических показателей здания школы до и после термомодернизации**

Энергетические показатели	до	после
	кВт ч/(м <sup>2</sup> год)	кВт ч/(м <sup>2</sup> год)
- полезной энергии $EU$	285.7	142.4
- конечной $EK$	526.0	149.4
- первичной не возобновляемых источников энергии $EP$	578.6	164.3

Показатель  $EK$  является индикатором спроса на конечную энергию и  $EU$  индикатором энергии использованной для эксплуатационных нужд. По данным национального законодательства в области энергосбережения [10] максимальное допустимое значение показателя  $EP$  определяет годовой спрос на невозобновляемую энергию на обеспечение энергией системы: отопления, вентиляции, горячей водой, охлаждения и освещения. Показатель  $EP$  рассчитывается по следующей формуле:

$$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C + \Delta EP_L$$

где  $EP_{H+W}$  – максимальное значение частных показателей  $EP$  на обеспечение энергией системы отопления, вентиляции и подготовки горячей воды, кВт ч/(м<sup>2</sup> год);

$\Delta EP_C$  – максимальное значение парциального показатель  $EP$  для системы охлаждения, кВт ч/(м<sup>2</sup> год);

$\Delta EP_L$  – максимальное значение парциального показатель  $EP$  для системы освещения (только для общественных и производственных зданий), кВт ч/(м<sup>2</sup> год).

Величины частичных, допустимых, максимальных на сегодняшний день значений показателя  $EP$  для учебных заведений с системами: отопления, вентиляции, горячей воды, охлаждения воздуха и освещения, представлены в таблице 4.

В анализируемом здании школы нет системы охлаждения воздуха, поэтому

$\Delta EP_C = 0 \text{ кВт ч}/(\text{м}^2 \text{ год})$ . Длительность освещения в течение года для школьных зданий составляет 2000 ч/год, поэтому  $\Delta EP_L = 50 \text{ кВт ч}/(\text{м}^2 \text{ год})$ . Максимальное значение показателя  $EP$  для исследуемых школьных зданий составляет 115  $\text{kВт ч}/(\text{м}^2 \text{ год})$

Несмотря на значительное сокращение потребления конечной энергии, показатель  $EP$ , полученный в 2010 году слишком высокий и не соответствует современным строительным требованиям. Поэтому целесообразно было бы найти решение с применением использования возобновляемых источников, для частичного обеспечения здания этой энергией.

**Таблица 4 – Частичные максимальные значения показателя  $EP$  для учебных зданий с системой отопления, вентиляции, горячей воды, охлаждения воздуха и освещения [13]**

Частичные максимальные значения показателя $EP$ :		кВт ч/(\text{м}^2 \text{ год})
- для системы отопления, вентиляции и горячей воды	$E_{PH+W}$	65
- для системы охлаждения	$\Delta EP_C$	$25 \cdot A_{f,C}/A_f$
- для системы освещения	$\Delta EP_L$	для $t_0 < 2500$ $\Delta EP_L = 50$ для $t_0 \geq 2500$ $\Delta EP_L = 100$

Примечание:

$A_{f,c}$  – полезная охлаждаемая площадь здания,  $\text{м}^2$ ;

$A_f$  – обогреваемая площадь здания,  $\text{м}^2$ ;

$t_0$  – продолжительность включения освещения за год, ч/год.

### **3. Энергосбережение в результате проведённой термомодернизации**

После комплексной термомодернизации в здание школы наблюдаются и анализируются различного рода эффекты. Основные преимущества комплексной термомодернизации связаны с высокой экономической эффективностью, т. е. значительным снижением теплопотребления в результате снижения потребления топлива. В исследованиях принято было провести наблюдения потребления (каменного угля, природного газа, воды и электроэнергии). В связи с этим оценивались расходы по разным источникам энергии. Год 2010, когда выполнена была термомодернизация здания, был переходным годом, и поэтому не учитывался при расчёте средней эффективности термомодернизации.

Мониторинг результатов проведенной термомодернизации показал значительное снижение потребления энергии на отопление, вентиляцию и подогрев горячей воды (рис. 7).

До проведения термомодернизации среднее потребление энергии составляло ок. 1000 ГДж/год, а после её проведения снизилось до ок. 420 ГДж/год. Средний энергетический эффект составил ок. 58%. Снижение конечного потребления энергии в анализируемом периоде связано было в значительной степени с совершенствованием системы отопления и подогрева горячей воды.

После термомодернизации цена за 1 ГДж энергии увеличилась в связи с заменой топлива из каменного угля на природный газ. Но так как значительно уменьшились энергозатраты, стоимость энергии отнесённая к единице эксплуатируемой площади здания уменьшилась. Она оказалась близка уровню себестоимости энергии с 2008-2009 годов. Выполнение термомодернизации с заменой топлива на более дорогое помогло нейтрализовать повышение цен на природный газ, который произошёл в период с 2011 по 2015 год. Стоимость энергии отнесённая к единице площади здания до и после тепловой модернизации представлен на рисунке 8.

Уменьшение стоимости единицы тепла за отопление и подогрев горячей воды является не столь значительным, как снижение потребления энергии, что связано с увеличением цены за 1  $\text{м}^3$  природного газа, с 1,15 до 3,23 пол. золотых, в анализируемом периоде времени.

Использование электроэнергии снизилась в здании, но оказалось не так ощутимым как снижение затрат на тепло. Расходование электроэнергии в здании школы до и после термомодернизации представлено на рисунке 9.

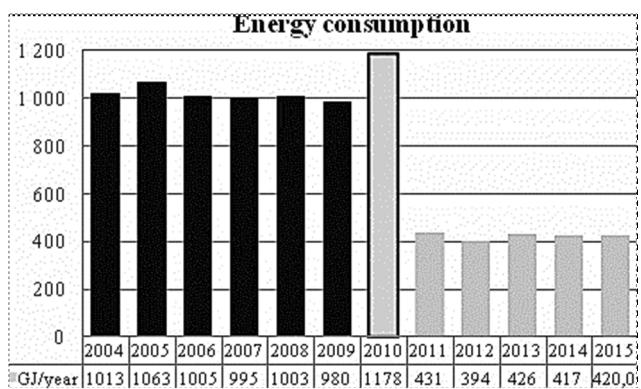


Рисунок 7 – Общее расходование энергии в ГДж/год, до и после термомодернизации здания

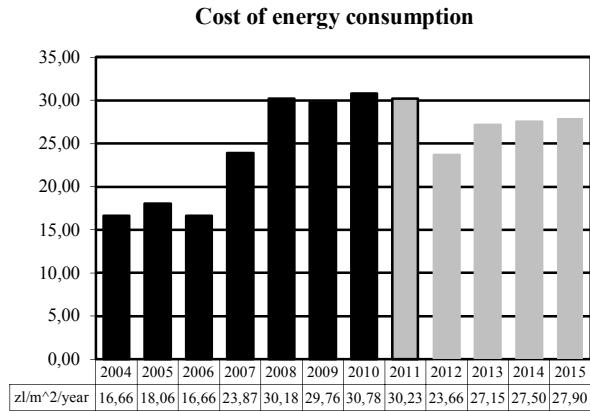


Рисунок 8 – Стоимость энергии в пол.зл./м<sup>2</sup> единице площади здания до и после тепловой модернизации

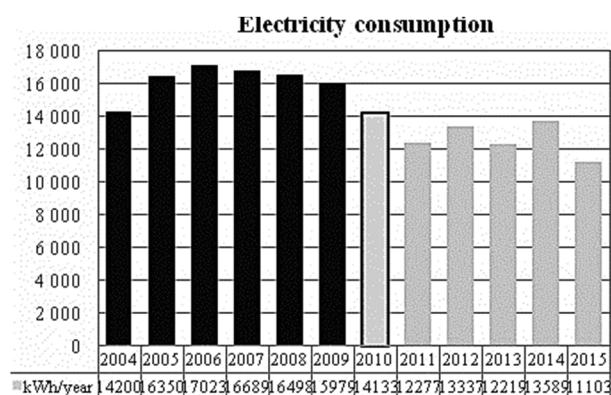


Рисунок 9 – Расходование электроэнергии в кВт·ч/год, в здании школы до и после термомодернизации

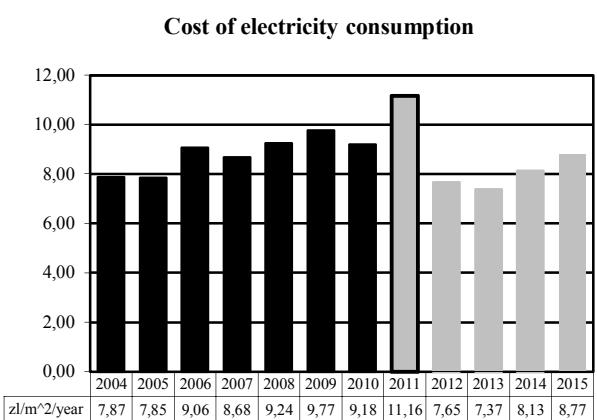


Рисунок 10 – Стоимость электроэнергии, в пол.зл./м<sup>2</sup> эксплуатируемой площади здания, до и после термомодернизации

До термомодернизации среднее потребление электроэнергии в исследуемом объекте составляло ок. 16 100 кВт·ч в год, а после термомодернизации снизилось до 12 500 кВт·ч в год. Что дало около 35% эффект снижения годового потребления электроэнергии. Снижение потребления электроэнергии связано с тем, что перед модернизацией около 45% горячей воды было подготовлено с использованием электронагревателей. Увеличение потребления электроэнергии в 2011 году было вызвано проведением модернизационных работ.

В 2012 году достигнут был около 17% эффект снижение годовой оплаты за электроэнергию. Стоимость электроэнергии отнесённая на 1 м<sup>2</sup> эксплуатируемой площади здания указана на рисунке 10.

Надо отметить, что в период 2004-2015 годов также отмечено было повышение цен на электроэнергию. Средняя цена за электричество в анализируемом здании увеличилась с 0,46 пол.зл./кВт·ч, до 0,78 пол.зл./кВт·ч.

## Выводы

Повышение эффективности использования энергии является главнейшей задачей поставленной в стратегических документах, определяющих направление развития Европейского Союза. Одним из элементов, определенных в стратегии Европейского Союза является повышение энергоэффективности на 20% до 2020 года. Общее потребление энергии в период реализации и эксплуатации зданий в Евросоюзе составляет почти 40% от общего потребления энергии. Около 70% энергии, потребляется на нужды отопления и приготовления горячей воды. Директивы Ев-

ропейского Союза рекомендуют, в частности, обращают внимание на необходимость учёта при разработке национальных долгосрочных стратегий, разного рода, в том числе и финансовой, поддержки инвестиций связанных с модернизацией зданий. Надо применять методы поиска оптимальных путей решения задач по повышению энергоэффективности зданий и развивать инструменты привлечения для них инвесторов.

В последнее десятилетие Польша добилась большого прогресса в области охраны окружающей среды, в том числе охраны воздуха. Эти эффекты могли быть получены также за счёт термомодернизационных мероприятий проводимых в строительной отрасли. Однако для реализации принципов устойчивого экономического развития и повышение эффективности использования энергии и материальных ресурсов, необходимо проводить и развивать стратегии повышения энергоэффективности в разных областях экономики страны. Энергетическая эффективность польской экономики примерно в три раза ниже, чем в большинстве развитых европейских стран, и примерно в два раза ниже, чем в среднем в ЕС. Кроме того, потребление первичной энергии в Польше, почти на 40% ниже, чем в большинстве развитых европейских стран, что указывает на большой потенциал по энергосбережению в Польше.

Одним из способов повышения энергоэффективности зданий и снижения воздействия на окружающую среду зданий являются разного типа мероприятия, связанные с термомодернизацией зданий. Оценивается, что за счёт термомодернизации традиционного здания можно сэкономить до 40% энергии. Термомодернизационные мероприятия в Польше проводятся уже более тридцати лет. Системным способом на основе комплексного подхода и поиска оптимальных экономических результатом более двадцати пяти лет.

В статье представлены возможности повышения энергоэффективности стандартного здания школы. Мероприятия по термомодернизации в этом здании включают широкий спектр совершенствования расходования и управления энергией общественного здания. Мониторинг результатов проведенной термомодернизации показал ряд преимуществ, данного способа подхода к энергетике здания:

1. правильно проверенная тепловая модернизация способствует улучшению энергетических характеристик здания,
2. комплексных подход к термомодернизации здания приносит максимальный эффект и минимальные сроки отдачи вложенных средств,
3. средний реальный эффект снижения потребления тепла в модернизированном здании школы составил ок. 58%,
4. снижение потребления электроэнергии состарило примерно 35%,
5. колебания в потреблении энергии в течение анализируемого периода были частично связаны с изменением климатических и эксплуатационных условий,
6. снижение годовой оплаты за электричество составило ок. 17%,
7. снижению затрат на потребление энергии не столь значительным, как снижение потребления самой энергии, что связано с повышением цены на энергию,
8. в связи с изменением цен на топливо, воду и электричество не всегда удается достичь экономических результатов рассчитанных в энергоаудите.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guła A. i in., Strategia modernizacji budynków. Mapa drogowa 2050. Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2014, 111 s.
2. Raport z realizacji polityki ekologicznej państwa w latach 2009-2012, Fundeo, Warszawa 2013, 272 s.
3. Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami, Informacja o wynikach kontroli, NIK, Warszawa 2014, 121 s.
4. Energy Statistics, Statistical Information and Elaborations. Central Statistical Office, Warsaw 2015
5. EU Transport in Figures Statistical Pocketbook, Publications Office of the European Union Luxembourg, 2011-2015
6. Statistical Yearbook of the Republic of Poland, Central Statistical Office, Warsaw 2011-2015
7. Energy consumption in households in 2012, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2014
8. Energy efficiency, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2011-2016
9. European Commission, Energy, <https://ec.europa.eu/energy/>
10. Data hub for the energy performance of buildings, [www.buildingsdata.eu](http://www.buildingsdata.eu)
11. Energy, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2016
12. Energy from renewable sources, Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2015

13. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 ze zmianami (Dz.U. 2013 poz. 926)

**Уйма Адам**

Ченстоховский университет технологии, г. Ченстохова, Польша  
Д.т.н., кафедра организации строительства и технологии, кафедра строительно физики  
E-mail: [aujma@bud.pcz.czest.pl](mailto:aujma@bud.pcz.czest.pl)

**Лис Анна**

Ченстоховский университет технологии, г. Ченстохова, Польша  
Д.т.н., кафедра организации строительства и технологии, кафедра строительно физики  
E-mail: [annalis29@wp.pl](mailto:annalis29@wp.pl)

---

A. UJMA, A. LIS

## **MONITORING THE RESULTS OF REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN THE SCHOOL BUILDING**

*The article presents the improving the energy efficiency of the chosen school building. Thermal modernization activities conducted in this building included a wide scope of improvements. The article presents the real results of the thermal modernization activity based on the monitoring of their effects conducted in selected educational building from 2011 to 2015 which was a representative of the evaluated group of buildings. The analysis includes energy consumption for heating, ventilation and domestic hot water preparation and electricity consumption in chosen building. The monitoring of the results from conducted thermal modernization showed significant energy reduction effect and therefore also fuel consumption and exploitation costs of this building and pointed out a number of benefits resulting from this type of activity.*

**Keywords:** complex thermomodernization, energy consumption, energy saving

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Guła A. i in., Strategia modernizacji budynków. Mapa drogowa 2050. Instytut Ekonomii Środowiska, Kraków 2014, 111 s.
2. Raport z realizacji polityki ekologicznej państwa w latach 2009-2012, Fundek, Warszawa 2013, 272 s.
3. Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami, Informacja o wynikach kontroli, NIK, Warszawa 2014, 121 s.
4. Energy Statistics, Statistical Information and Elaborations. Central Statistical Office, Warsaw 2015
5. EU Transport in Figures Statistical Pocketbook, Publications Office of the European Union Luxembourg, 2011-2015
6. Statistical Yearbook of the Republic of Poland, Central Statistical Office, Warsaw 2011-2015
7. Energy consumption in households in 2012, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2014
8. Energy efficiency, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2011-2016
9. European Commission, Energy, <https://ec.europa.eu/energy/>
10. Data hub for the energy performance of buildings, [www.buildingsdata.eu](http://www.buildingsdata.eu)
11. Energy, Statistical Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2016
12. Energy from renewable sources, Information and Elaborations, Central Statistical Office, Warsaw 2015
13. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 ze zmianami (Dz.U. 2013 poz. 926)

**Ujma Adam**

Częstochowa University of Technology, Częstochowa, Poland  
PhD (eng.), Department of construction organization and technology, Department of Building Physics  
E-mail: [aujma@bud.pcz.czest.pl](mailto:aujma@bud.pcz.czest.pl)

**Lis Anna**

Częstochowa University of Technology, Częstochowa, Poland  
PhD (eng.), Department of construction organization and technology, Department of Building Physics  
E-mail: [annalis29@wp.pl](mailto:annalis29@wp.pl)

УДК 697:699.86.:620.9

ХАЛИМОВ О.З., ХАЛИМОВА Н.М.

## К ВОПРОСУ О ТИПОЛОГИИ ДЕФЕКТОВ ТЕПЛОПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

*Проблемы энергосбережения являются одними из наиболее актуальных в мировой экономике. Способы решения этих проблем в значительной мере будут определять место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран, а уровень жизни российских граждан будет зависеть от чистоты атмосферы при сжигании источников тепла. В статье рассмотрены причины загрязнений атмосферного воздуха в городах с индивидуальной застройкой. Загрязнение воздушного бассейна обусловлено неэффективным сжиганием каменного угля в топках и мелких котельных частного сектора. Проанализированы основные мости холода через ограждающие конструкции: фундаменты, чердачные покрытия, стены с некачественно выполненной теплоизоляцией и окна, через которые происходит вынос тепловой энергии. Показаны пути недопущения и меры устранения этого брака.*

**Ключевые слова:** теплопотери, фундаменты, чердачные покрытия, стены, окна.

Проблемы энергосбережения являются одними из наиболее актуальных в мировой экономике. Способы решения этих проблем в значительной мере будут определять место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран и уровень жизни российских граждан. Энергосбережение и энергоэффективность продолжают оставаться ключевыми темами в жизни россиян. С момента принятия Федерального закона от 23.11.2009 года №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» многие предприятия и граждане смогли существенно сократить расходы на электроэнергию за счёт внедрения различных энергосберегающих технологий и оптимизации потребления электричества [1]. Вопросам энергоэффективности российского ТЭК посвящен основополагающий документ Республики Хакасия - Долгосрочная республиканская целевая программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности в Республике Хакасия на 2013 -2015 годы и на перспективу до 2020 года [2].

Тем не менее, энергосбережение до недавнего времени в России и в Хакасии является, по мнению В.Я. Ушакова, «преимущественно, побочным продуктом научно-технического прогресса, а именно, отсутствовал опыт реализации государственных программ и централизованного планирования в рыночных условиях; не было должной финансовой поддержки со стороны государства и жесткого спроса за исполнение. Поэтому траты основных средств шла не на реализацию мероприятий по повышению энергоэффективности, а на «латание дыр» старого теплоэнергетического оборудования» [7].

Кроме того, как отмечает В.Я.Ушаков, «энергоснабжающие организации не были заинтересованы в снижении энергетических затрат у потребителей; физические лица – потребители энергии - только под давлением мощных стимулов были готовы отказаться от энергорасточительности (во многих случаях побеждала некомпетентность и обыкновенная ленность думать и действовать)» [7].

Одной из причин, сдерживающих мероприятия по теплоэнергосбережению, авторы-аналитики считают причину психологического характера – специфический менталитет россиян. Это привычка придерживаться стереотипов, а не рационализма; низкая дисциплина и ответственность, выраженная в нормах их поведения; привычка реагировать только на команды. Энергосбережение представляется им ненадежным объектом вложения средств и усилий. Привлекательность в глазах россиян «широкой натуры», уверенность в «неисчислимости» и «неисчерпаемости» природных богатств нашей страны, внушаемая за многие десятилетия, в итоге привела к неумению и нежеланию быть рачительными хозяевами своей жизни. Это наглядно прослеживается в менталитете жителей частного сектора Республики Тыва, Хакасия, Юга Красноярского края [8,10].

Влияние сибирского и азиатского антициклонов в зимний период распространяется на значительные территории Азии. Однако наибольшее значение для загрязнения воздушного бассейна при сжигании угля в домах частного сектора оказывается в котловинах: Тувинской, Южно-Минусинской, Сыдо-Ербинской и Северо-Минусинской.

На первом месте по загрязнению стоит город Кызыл в Тувинской котловине. Причина кроется в холодной безветренной погоде и отсутствии культуры в теплозащите зданий. К тому же наличие огромных запасов высококалорийных каменных углей в Тыве способствует энергорасточительной философии жизнедеятельности населения.

Аналогичная ситуация имеет место и в Южно-Минусинской котловине, где расположены три города: Абакан, Черногорск и Минусинск.

Многолетние наблюдения показывают, что в период антициклона наблюдается формирование смога в первые сутки после прекращения движения воздушных масс, в результате сжигания угля в топках частного сектора, угольных котельных, автотранспорта. Через двое суток безветренной погоды смог захватывает территорию многоэтажной застройки. На третьи сутки зона поражения (ПДК превышен в десятки раз) распространяется на все три города, сливаясь в единый воздушный массив, загрязняющий атмосферу. На расстоянии от 20- до 40 км от границ этих городов зона рассеивания стабилизируется и за ее пределами сохраняется чистый воздух.

На рис.1 и рис. 2 представлены результаты исследований «Центра гигиены и эпидемиологии» города Абакана по состоянию загрязняющих веществ в разных районах г. Черногорска. Как видно из графиков, наибольшее загрязнение по бензапирену в 46 ПДК имеют участки, где расположен частный сектор (точки 5 и 6); точка 4 расположена в центре города Черногорска по ул. Советская в районе пятиэтажной и административной застройки. На этой улице наиболее интенсивное движение автотранспорта, однако, превышение ПДК по бензапирену в 2- 3 раза ниже, чем в частном секторе.

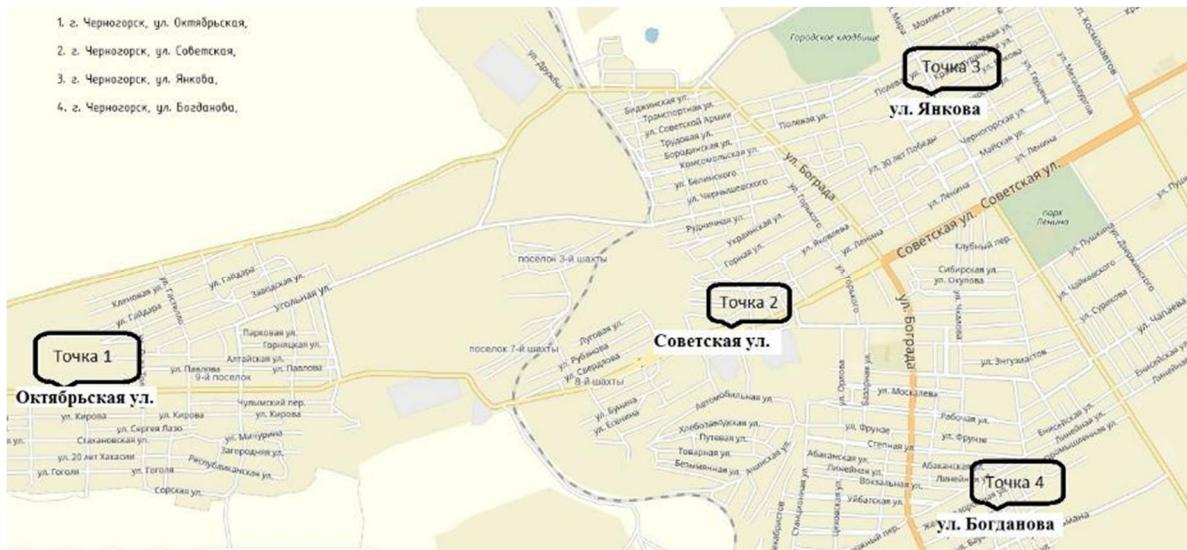


Рисунок 1 - Схема расположения точек мониторинга атмосферного воздуха

Таким образом, для снижения уровня загрязнений необходимо в первую очередь снижать количество сжигаемого угля в топках частного сектора. А для этого необходимо ликвидировать в зданиях мости холода, через которые уходит тепло. Для понимания того, что угля в домах частного сектора сжигается от 4-х до 7-ми раз больше, чем это необходимо, на рис. 3 приводится диаграмма распределения зданий по классам энергетической эффективности.

Здания, которые строят в настоящее время, близки к 100% энергетической эффективности. Однако в Хакасии имеются объекты, построенные по программе социального жилья, где в зимний период энергоэффективность очень низкая.

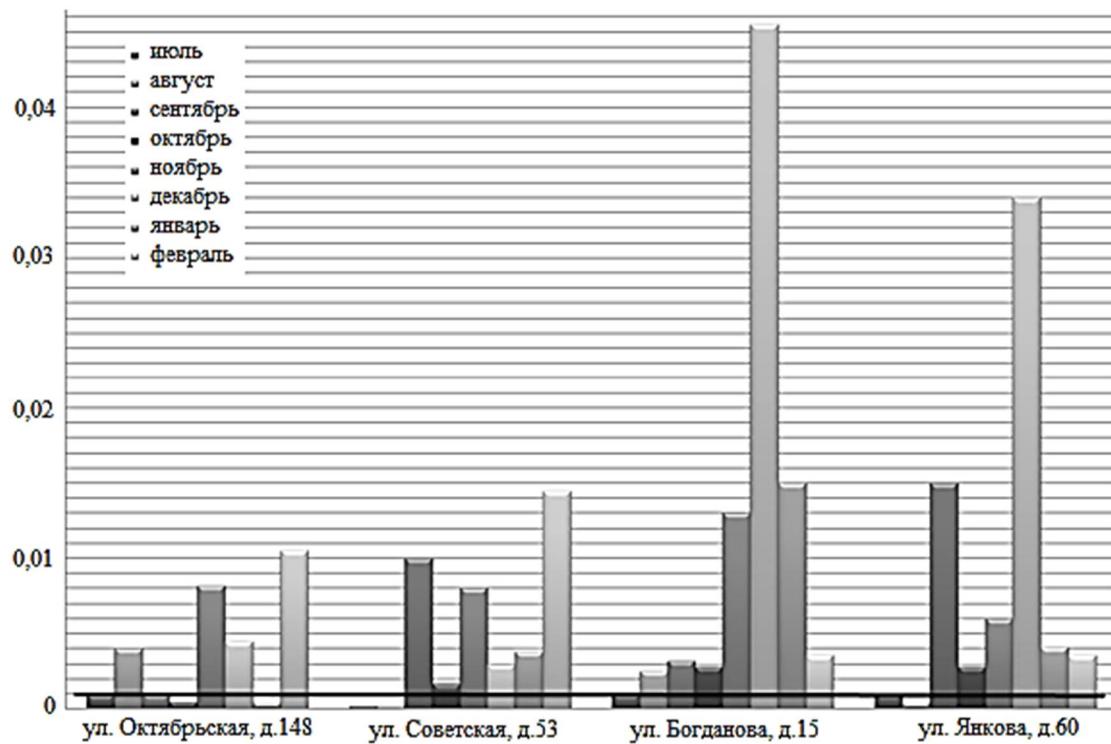


Рисунок 2 – Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха г. Черногорска по бензапирену



Рисунок 3 – Диаграмма распределения зданий по классам энергетической эффективности  
Катастрофические потери тепла происходят через фундаменты

Из рисунка 4 следует, что по буробетонным столбам выполнен железобетонный рост-верк, который из-за несовершенного проектного решения не утеплен изнутри присыпкой керамзитового гравия. Поэтому, несмотря на надежную теплозащиту стен из пеноблоков, дополнительно утепленных минеральной плитой и закрытой фасадной системой, теплопотери приводят к сжиганию угля в 8-10 раз больше, чем требуется для такого дома. Аналогичные недостаточные по теплозащите решения фундаментов имеет большинство индивидуальных домов застройки прошлого века.

В старые времена всегда на зиму вокруг частного дома делали «завалинку». В настоящее время это стало не модным, но «модным» является философия энергорасточительства, с которой необходимо бороться [9].

Вопросы утепления современных зданий представлены в работах Крайнова Д.В., Корниенко С.В., Малявиной Е.Г. [3,4,5].

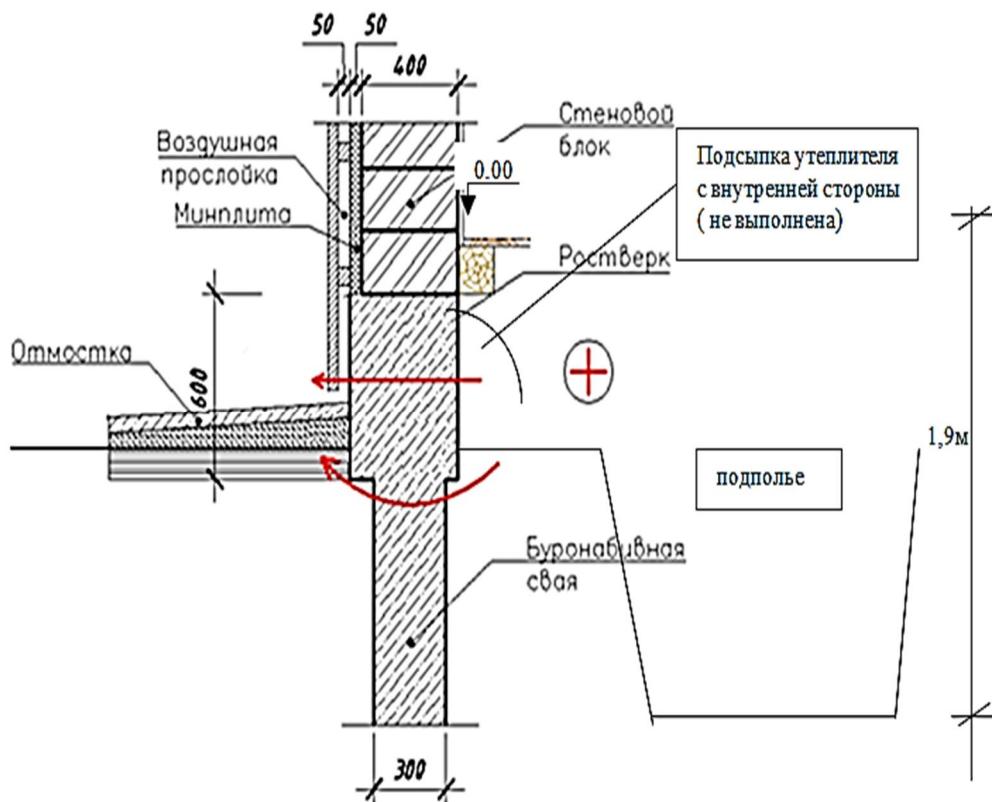


Рисунок 4 – Теплопотери через фундамент

В нашем примере эффективным решением проблемы является теплозащита ростверка и отмостки (рисунок 5), которые исключают проникновение отрицательных температур под фундамент и в подпольное пространство. Однако здесь важна деталь - необходимость приклеивания утеплителя. Без выравнивания вертикальной поверхности перед нанесением клеевого состава между бетоном и утеплителем формируется щель, через которую проникает тепловой поток и выносится энергия. Надежда на то, что анкерами утеплитель будет плотно прижат к бетону сродни выражению: благими намерениями «вымощена дорога в ад». Надежность создания теплозащиты должна быть равна качеству сварного шва, обеспечивающего устойчивость здания по его несущей способности. Анализы результатов тепловизионной съемки показывают, что через цоколь и отмостку при неправильном их выполнении выносится значительная доля теплового потока.

На рисунке 5 показано надежное решение теплозащиты цоколя путем наклеивания пенополистирола на ростверк и дальнейшая горизонтальная укладка данного материала на 2 метра по ширине отмостки.

На втором месте по потерям в тепловом контуре жилого дома являются дефекты чердачного перекрытия. При обследовании более 300 домов постройки 60-90 годов установлено, что на чердачном перекрытии находится от 60 до 140 мм шлака. Его плотное, слежавшееся состояние также показывает на недостаточную теплозащиту. В результате в таком доме отрицательная температура проникает через фундамент, а тепловой поток от печек выносится через чердачное перекрытие.

В конструкции чердачного перекрытия необходимо отметить дефект, характерный при попытках создания пароизоляции по железобетонному перекрытию (рисунок 6).

При обследовании стыка плиты перекрытия с парапетом более чем в 80% случаях фиксируется заведение рубероида на кирпичную кладку. Такое популярное спутывание понятий гидро- и пароизоляции способствует выносу парообразной влаги и тепла через образующуюся щель в месте этого ненужного перелома, который при устройстве пароизоляции необходимо исключить.

При утеплении наружных стен характерной ошибкой является устройство теплоизоляции с последующей мокрой штукатуркой по сетке, способствующей аккумуляции влаги в

утеплителе. В результате чего слой утеплителя насыщается влагой, а при потеплении через трещины выпущенной штукатурки вытекает оттаивающая влага (Рисунок 7).

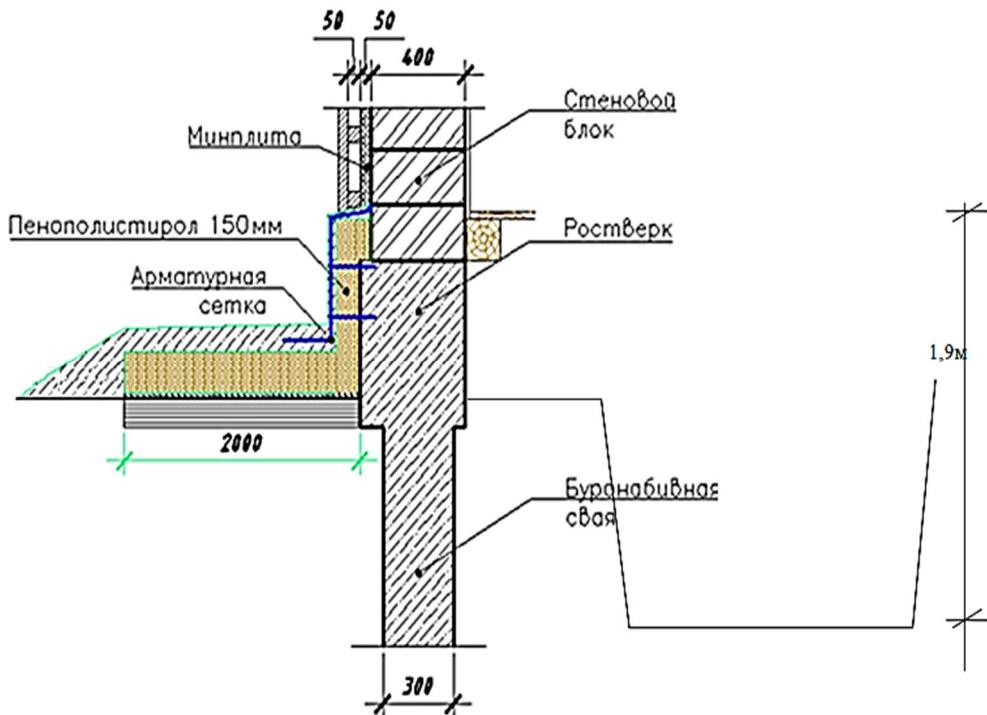


Рисунок 5 – Утепление фундамента снаружи

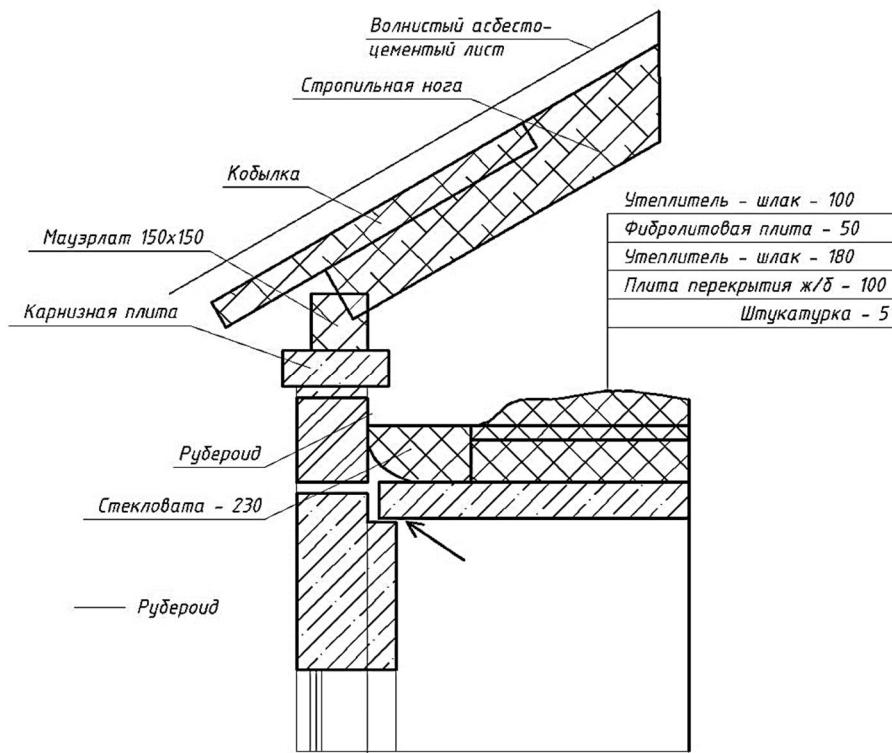
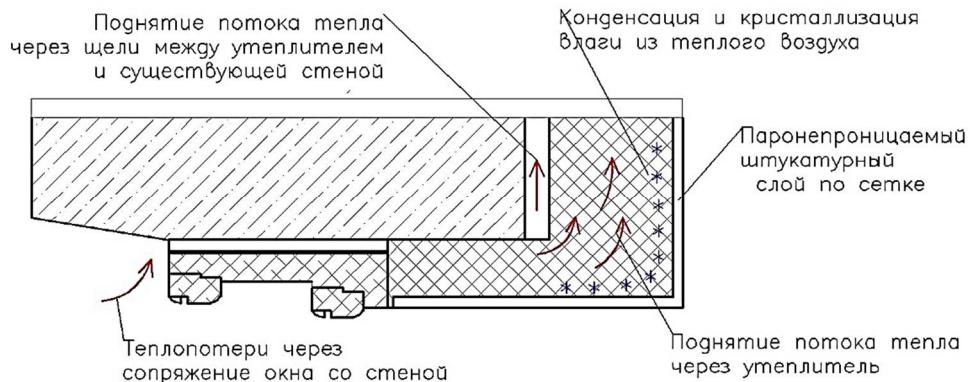


Рисунок 6 – Характерный дефект (образование щели) при сопряжении и устройстве пароизоляции по чердачным плитам покрытий

На рисунке 7 показано проникновение парообразной влаги в слой утеплителя при закупоривании стыка оконного блока со стеной, который должен «дышать». Для этого современным решением предусматривается укладка паропроницаемого материала (например, ПСУЛ, САЗИЛАСТ и др.), которые свободно обеспечивают вынос парообразной влаги. Однако для

снижения выноса парообразной влаги наиболее эффективным является создание надежной пароизоляции, исключающей проникновение пара в стык оконного проема.



**Рисунок 7 - Дефекты утепления стен, вызванные прониканием пара из стыков окон и швов в утеплитель**

В ряде обследуемых объектов строители пытаются снизить теплопотери закупориванием данного стыка снаружи. Известно, что приток и вынос воздуха в здании обеспечивался через щели в деревянных окнах при их некачественном исполнении.

Анализ причин брака при изготовлении и монтаже пластиковых окон выявил, что главным недостатком при их изготовлении является кривизна импостов и рам, а при монтаже – отсутствие надежной пароизоляции.

Таким образом, рассмотренные дефекты, могут быть положены в основу классификации для их ранжирования и дальнейшего устранения теплопотерь [9], а с жителями частного сектора должна быть организована работа по формированию мотивации к энергосбережению и энергоэффективности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный Закон от 23 ноября 2009г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Российская газета, 2009г., 27 ноября.
2. Долгосрочная республиканская целевая программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности в Республике Хакасия на 2013 -2015 годы и на перспективу до 2020 года», утвержденная постановлением Правительства Республики Хакасия от 03.10.2012 № 663.
3. Крайнов Д.В., Сафин И.Ш., Любимцев А.С. Расчет дополнительных теплопотерь через теплопроводные включения ограждающих конструкций (на примере узла оконного откоса) // Инженерно-строительный журнал. - 2010. - №6 (16). – С.17-22.
4. Корниенко, С.В. Многофакторная оценка теплового режима в элементах обочки здания // Инженерно-строительный журнал. - 2014. - №8 (52). – С.25-37.
5. Малинина Е.Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий // АВОК. - 2009. - №1. – С.4-10.
6. Портнягин Д.Г. Повышение теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий с применением пеностеклокристаллического материала // Инженерно-строительный журнал. - 2015. - №8. – С.56-66.
7. Ушаков В.Я. Основные факторы, затрудняющие реализацию концепции энергосбережения // Доклад на заседании круглого стола Комитета Государственной Думы по энергетике на тему: «Нормативно-правовое обеспечение энергосбережения и повышения энергетической эффективности», г. Москва, 11 февраля 2013.
8. Халимова Н.М. Энергоэффективные мифы. Современные трансформационные экономические и социально-политические процессы: тезисы докл. / Н.М. Халимова, Д.В. Шитиков, Н.А. Эклер // IV Международ. научно-практич. конф. – Абакан: ХТИ- филиала СФУ, 2013. -С.309-312.
9. Шитиков Д.В. Изучение причин теплопотерь пластиковых окон: тезисы докл. / Д.В. Шитиков, П.В. Мордвин, О.З. Халимов // IVМеждународ. научно-практич. конф. – Абакан: ХТИ- филиала СФУ, 2011. -С.68-72
10. ЭнергоСовет.ru – энергосбережение, энергоэффективность, энергосберегающие технологии [Электронный ресурс] // Официальный сайт ЭнергоСовет.ru – Режим доступа: <http://www.energosovet.ru>.

**Халимов Олег Закирович**

Хакасский технический институт-филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан  
Кандидат технических наук, доцент кафедры строительства

E-mail: [nmhal@mail.ru](mailto:nmhal@mail.ru)

**Халимова Надежда Михайловна,**  
Хакасский государственный университет, г. Абакан  
доктор педагогических наук, доцент кафедры психолого-педагогического образования  
E-mail: [nmhal@mail.ru](mailto:nmhal@mail.ru)

---

O. KHALIMOV, N. KHALIMOVA

## **TO THE QUESTION OF THE TYPOLOGY OF DEFECTS THERMAL THREAT THROUGH THE FENCING CONSTRUCTION**

*Problems of energy-savings are one of most actual in a world economy. The methods of decision of these problems to a great extent will determine the location of our society among the countries developed in an economic relation, and standard of living of the Russian citizens of зависеть from the cleanliness of atmosphere at incineration of sources of menzha for translation. The reasons of contaminations of atmospheric air, caused by menzonomeriyami in the houses of private sector from incineration of anthracite coal, are considered in the article. The basic bridges of cold are analysed through non-load-bearing constructions: foundations, garret coverages, walls with off-grade executed heat-insulation and windows. The ways of their non-admission of this marriage are shown.*

**Keywords:** heat loss, foundations, garret coverages, walls, windows.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Federal'nyy Zakon ot 23 novabrya 2009g. №261-FZ «Ob energosberezenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii» // Rossiyskaya gazeta, 2009g., 27 noyabrya.
2. Dolgosrochnaya respublikanskaya tselevaya programma «Energosberezeniye i povysheniye energoeffektivnosti v Respublike Khakasiya na 2013 -2015 gody i na perspektivu do 2020 goda», utverzhdenaya postanovleniyem Pravitel'stva Respubliki Khakasiya ot 03.10.2012 № 663.
3. Kravnov D.V., Safin I.SH., Lvubitsev A.S. Raschet dopolnitel'nykh teplopoter' cherez teploprovodnyye vklucheniya ograzhdayushchikh konstruktsiy (na primere uzla okonnogo otkosa) // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. - 2010. - №6 (16). – S.17-22.
4. Korniyenko, S.V. Mnogofaktornaya otsenka teplovogo rezhima v elementakh obochki zdaniya // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. - 2014. - №8 (52). – S.25-37.
5. Malyavina Ye.G. Stroitel'naya teplofizika i problemy utepleniya sovremennoykh zdaniy // AVOK. - 2009. - №1. –S.4-10.
6. Portnyagin D.G. Povysheniye teplozashchity uzlov ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy s primeneniem penostekloristallicheskogo materiala // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. - 2015. - №8. – S.56-66.
7. Ushakov V.YA. Osnovnyye faktory, zatrudnyayushchiye realizatsiyu kontseptsii energosberezeniya // Doklad na zasedanii kruglogo stola Komiteta Gosudarstvennoy Dumy po energetike na temu: «Normativno-pravovoye obespecheniye energosberezeniya i povysheniya energeticheskoy effektivnosti», g. Moskva, 11 fevralya 2013.
8. Khalimova N.M. Energoeffektivnyye mify. Sovremennyye transformatsionnyye ekonomicheskiye i sotsial'no-politicheskiye protsessy: tezisy dokl. / N.M. Khalimova, D.V. Shitikov, N.A. Ekler // IV Mezhdunarod. nauchno-praktich. konf. – Abakan: KHTI- filiala SFU, 2013. -S.309-312.
9. Shitikov D.V. Izuchenije prichin teplopoter' plastikovykh okon: tezisy dokl. / D.V. Shitikov, P.V. Mordvin, O.Z. Khalimov // IVMezhdunarod. nauchno-praktich. konf. – Abakan: KHTI- filiala SFU, 2011. -S.68-72
10. EnergoSovet.ru – energosberezeniye, energoeffektivnost', energosberegavushchiye tekhnologii [Elektronnyy resurs] // Ofitsial'nyy sayt EnergoSovet.ru – Rezhim dostupa: <http://www.energosovet.ru>.

### **O. Khalimov**

Khakassia Technical Institute-branch of the Siberian Federal University, Abakan  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction  
E-mail: [nmhal@mail.ru](mailto:nmhal@mail.ru)

### **N. Khalimova**

Khakassia State University, Abakan  
Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Psychological and Pedagogical Education  
E-mail: nmhal@mail.ru

УДК 534.2 + 711.4

ШУБИН И.Л., ГРЕБЕНКИН А.М., ГРЕБЕНКИНА Е.В.

## **ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШУМОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ**

*Акустическая и экономическая эффективность устраиваемых шумозащитных сооружений на городских территориях во многом определяется степенью их интеграции в городскую среду. Достаточно часто из-за отсутствия должной интеграции устройство шумозащитных сооружений вызывает негативный эстетический эффект, разрушает сложившуюся структуру застройки городов. Для обеспечения положительного эффекта при выборе и проектировании шумозащитных сооружений необходимо обеспечивать принципы их интеграции в структуру города. В статье рассмотрены существующие принципы интеграции объектов в городской застройке применительно к шумозащитным сооружениям. Их учёт позволит качественно изменить структурное, функциональное, архитектурное взаимодействие между ШС и существующими объектами среды, наладить межобъектный диалог с прилегающими смежными городскими пространствами. Выполнен анализ применения шумозащитных сооружений в пределах исторической, срединной и периферийной частях застройки провинциальных городов.*

**Ключевые слова:** город, принципы интеграции, шумозащитные сооружения, защита от шума.

В последние годы мероприятия по шумозащите городских территорий с использованием шумозащитных сооружений (ШС) становятся достаточно популярными. Имеется много примеров размещения ШС в современной городской среде. С инженерно-акустической точки зрения устройство ШС является наиболее эффективным способом защиты от повышенного шума. Можно привести достаточно много примеров применения удачных конструкций, позволивших значительно улучшить акустический комфорт в жилой застройке [1]. Однако, эстетический эффект от размещения их в пространстве города чаще всего является негативным. Это связано с тем, что наиболее распространённый инженерный подход к решению проблемы повышенного шума с помощью ШС не рассматривает их как часть городской среды, преобразование которой основано на качественном показателе – её целостности. В основе формирования городской среды, поддержания её единства лежат интеграционные процессы. И именно вопросы интеграции ШС с градостроительным контекстом остаются в большинстве случаев не решёнными, приводя к дифференциации пространств, нарушениям целостности, единства городской среды, его визуального восприятия и др. [2]. Выявление основных принципов интеграции ШС с городской средой и способов обеспечения этих принципов при их устройстве позволит избежать подобных градостроительных проблем.

В данной статье, под *интеграцией ШС* в градостроительной структуре понимается процесс их объединения с городской средой через установление оптимальных связей между относительно самостоятельными градостроительными объектами и дальнейшее их превращение в единую, целостную среду, в которой согласованы и взаимозависимы все её части. *Объектами интеграции* становятся проектируемые ШС и городская среда. При проектировании ШС должны рассматриваться как инженерно-архитектурный объект городской среды, предназначенный для снижения уровня звука на прилегающей к автомобильной дороге территории, способствующий формированию и поддержанию высокого уровня комфортаности городской застройки. *Городская среда*, требующая устройства ШС, может быть представлена отдельными территориальными объектами, обычно общественного назначения, с длительным пребыванием людей (парки, больницы, детские сады, школы и др.) и жилыми территориями (кварталы, микрорайоны).

Рассмотрим российский опыт устройства ШС в среде города. Как показывает практика, наиболее удачные решения размещения ШС в городской среде приходится на долю Москвы и Санкт-Петербурга. Таким решениям ШС присущи оригинальность (концептуальность), контекстность, качественное исполнение, поддержание многофункциональности (рис. 1).

## Строительство и реконструкция

Устройство ШС в большинстве провинциальных городов носит либо зачаточный характер, либо находится на низком уровне проектирования и исполнения (рис. 2). Большинство решений ШС невнятно, излишне типизировано, подчёркнуто-монотонно.

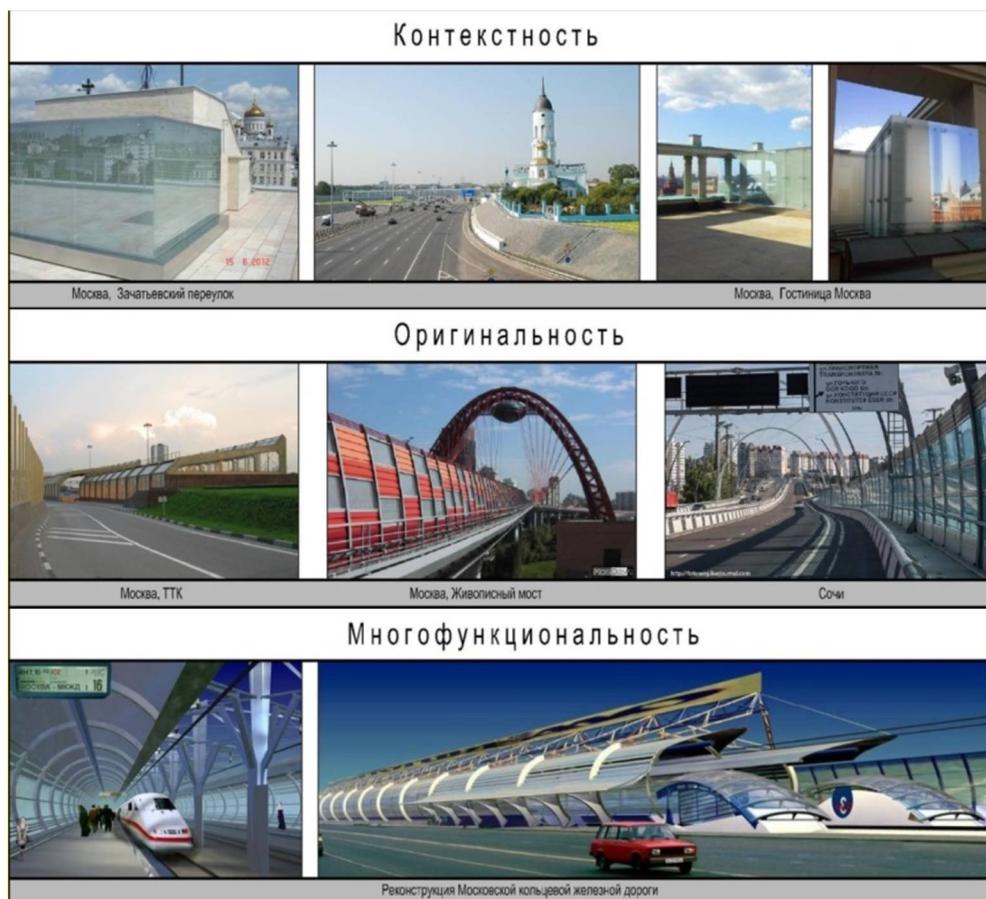


Рисунок 1 – Положительный опыт устройства ШС



Рисунок 2 – ШС с низким качеством проектирования и исполнения

Общий анализ опыта устройства ШС в городской среде позволяет сделать следующие выводы:

1. Крайне распространённым при размещение ШС является нарушение целостности городской среды. Наиболее грубое нарушение городского пространства возникает при устройстве ШС в исторических частях городов.

2. Отсутствует взаимодействие ШС с контекстом и как следствие, обособление ШС (эффект «инородного тела»).

3. Монофункциональность объектов ШС как на уровне объекта, так и на градостроительном уровне.

4. Большое количество ШС относятся к типизированным, лишённым индивидуальности объектам городской среды.

5. Очень редко возникают интегрированные городские пространства с акустически и экономически эффективными решениями ШС.

6. Интеграционные процессы при размещении ШС в городской среде слабо развиты, и особенно, в провинциальных городах России.

Таким образом, процесс устройства ШС в городской среде требует развития интеграционных процессов, основным приоритетом которых является сохранение целостности городской среды. В среде города процесс интеграции приобретает особое значение. Он ложится в основу формирования саморегулирующихся систем городского пространства, способных быстро реагировать на меняющиеся запросы общества и рост технического прогресса. В этой связи основными задачами интеграции ШС в городской среде являются:

- обеспечение связи между ШС и контекстом в градостроительном, историческом, социальном и техническом аспектах;
- определение способов и формы взаимодействия между функциями когда для каждой функции предоставлены оптимальные условия в физическом, психологическом и эмоциональном аспектах её взаимодействия с городом;
- повышение эффективности и адаптивности ШС;
- обеспечение связи функциональной составляющей ШС с его формообразованием;
- обеспечение эстетической, психологической, коммуникативной гармонизации ШС со средой.

Анализ опыта интеграции различных объектов в условиях городской среды позволяет выделить основные принципы интеграции в этой среде шумозащитных сооружений:

*Принцип целостности.* Принцип означает, что результатом формировании интегрированного пространства является система, обладающая полнотой, внутреннем единство, не противоречивостью составляющих её объектов, но при этом устойчивых и самостоятельно существующих, функционирующих в своём специфическом качестве. При проектировании ШС необходимо добиваться гармонии взаимодействия и соотношения частей как внутри объекта, так с фрагментом городской среды, учитывать временной фактор дальнейшего развития фрагмента среды с ШС, в также аккумулирование «нового качества» системы [3].

*Принцип симбиоза.* Сущность принципа заключается в углублении взаимодействия между объектами и укреплении их связей при интегрированном объединении. В процессе проектирования ШС в городском контексте должны создаваться условия для развития связей между объектами: усложнение функциональных связей, развитие временного фактора и др. [4].

*Принцип полифункциональности.* Он подразумевает, что объект при реализации собственных задач должен одновременно содействовать решению сопутствующих проблем конкретной градостроительной ситуации. В процессе проектирования этот принцип ложится в основу многофункциональности ШС посредством совмещения функций (экранирующие сооружения: общественные здания, гаражи, остановки транспорта) [5,6].

*Принцип выявления иерархичности* при вхождения объекта в новую объединённую структуру [4]. Принцип позволяет структурировать объекты внутри конкретной градостроительной ситуации и определить место объекта в новой объединённой структуре. В процессе проектирования ШС необходимо выявить место в новой системе, определить его роль и значение для градостроительной ситуации в целом.

*Принцип обюодности* подразумевает сохранение баланса взаимовлияния объектов интеграции. Баланс взаимовлияния определяется соблюдением положения о том, что все объекты интеграции воздействуют друг на друга, вызывая в них обюодные изменения. В процессе проектирования ШС должны рассматриваться вопросы возможного преобразования (изменения) существующих объектов интеграции на выявленном фрагменте городской среды.

*Принцип сохранения идентичности* объектов интеграции [4]. Процесс интеграции предполагает устройство ШС при условии сохранения особенностей существующих объектов городского пространства.

*Принцип саморегулирования*. Принцип заключается в автономности и самодостаточности существования сформированной системы в контексте времени (хронотоп). Проектируемые ШС, работая в системе «ШС-контекст-человек», должны максимально ограничивать экономические затраты на их поддержание при эксплуатации.

Использование указанных принципов при проектировании ШС как новых объектов среды позволяют корректно размещать их в городской структуре. Необходимо обозначить способы обеспечения этих принципов внутри сложившейся градостроительной системы. Каждая градостроительная система основана на модели взаимодействия частей города под действием социальных процессов, протекающих в городской среде. Согласно этой теории [7] пространство города можно разделить на три зоны: центральную, срединную и периферийную. Каждая из них обладает индивидуальным набором признаков, оказывающих большое влияние на любые модификации со средой, в том числе и введение новых элементов в виде ШС. Зоны отличаются друг от друга степенью зрелости среды, рангом функций и степенью их разнообразия, а главное, спецификой жизнедеятельности населения, включая структуру потребностей, способ их реализации, ценностные ориентации жителей [7,8]. В этой связи набор и использование различных принципов интеграции ШС с городской средой в процессе их размещения в каждой из этих зон будут существенно отличаться.

Центральная зона, чаще всего исторически сложившаяся часть провинциальных городов, обладает наиболее высоким культурным потенциалом, привлекает население всего города уникальными объектами культуры и образования. Как правило, зона имеет мелкоструктурную сетку улиц, на которых размещаются основные городские объекты, и поквартальную жилую застройку в 1–4 этажа.

Периферийная зона – наиболее удалённая часть города от центральной зоны. Это обстоятельство ограничивает её включение в общегородские связи. Зона представлена либо частным сектором, либо многоэтажным дискомфортным жильём с неразвитой сетью общественных функций, с нехваткой мест приложения труда и т.п.

Срединная зона, расположенная между центром и периферией, значительно преобразована в ходе их взаимодействия и обладает качествами «самодостаточности». Принципы планировочной организации здесь отличаются укрупнением жилого квартала, повышенной этажностью. В пределах зоны есть условия для выбора места приложения труда, вида деятельности, досуга и т.д.

Процесс интеграции ШС в каждой из указанных зон обладает своими особенностями. Хотя принципы интеграции являются универсальными, не везде их можно применять равнозначно. Для каждой зоны существуют доминирующие и сопутствующие принципы интеграции ШС.

В условиях исторической среды, важным является соблюдение принципов *целостности, идентичности и иерархичности*. Именно они позволяют интегрировать ШС с исторической застройкой. ШС, расположенные в исторической среде должны стать частью застройки, прилегающей к транспортной магистрали. В этом случае мероприятия по шумозащите будут тесно переплетены с мероприятиями по реконструкции застройки [9,10].

В периферийной и срединной частях города ШС являются элементами, формирующими территории вдоль основных транспортных магистралей. При проектировании ШС в условиях этих зон необходимо прежде всего руководствоваться принципами *саморегулирования, полифункциональности и иерархичности*. Это позволит усложнить, разнообразить примагистральную инфраструктуру и добиться повышения комфорта городских территорий.

Следует отметить, что несмотря на все индивидуальные особенности градостроительных ситуаций при интегрировании ШС должны всегда соблюдаться принципы *целостности, симбиоза и обьюдности*. Если все остальные принципы могут использоваться по результатам анализа существующей ситуации, то принципы целостности, симбиоза и обьюдности позволяют ШС «работать» в градостроительном контексте во всем временном интервале. Их обеспечение должно происходить в процессе всего периода существования ШС. Поэтому при их проектировании важно учитывать развитие градостроительной системы во времени.

Таким образом, выявленные проблемы и задачи устройства ШС в городской свидетельствуют о необходимости учёта интеграционных процессов внутри сложившейся среды провинциальных городов. Учёт их позволит качественно изменить структурное, функциональное, архитектурное взаимодействие между ШС и существующими объектами среды, наладить межобъектный диалог с прилегающими смежными городскими пространствами. Применение принципов интеграции позволит избежать негативных проблем при размещении и устройстве шумозащитных сооружений в различных градостроительных ситуациях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поступов, П.И. Совершенствование проектирования шумозащитных мероприятий на улицах и дорогах / П.И. Поступов, Б.А. Щит// Сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия». – 2011. – С. 626-637
2. Гребенкин, А.М. Принципы проектирования шумозащитных сооружений в городской среде с учётом их интеграции / А.М. Гребенкин, Е.В. Гребенкина, И.Л. Шубин // Жилищное строительство. – 2014. - №6. – С. 32-34
3. Шубин, И.Л. Интеграция шумозащитных барьеров в окружающую среду /И.Л. Шубин, Н.Е. Щурова// Промышленное и гражданское строительство. - 2010. - №6. - С. 19-23
4. Сорокина, И.О. Теоретические основы понятия «интеграция» и принципы её осуществления [Электронный ресурс] / И.О. Сорокина// Менеджмент в России и за рубежом. – 2008. – № 2. – Режим доступа: <http://www.mevriza.ru/articles/2008/2/4931.html>
5. Манохин, В.Я. Разработка математической модели транспортирования отходов/ В.Я. Манохин, В.Ф. Асминин// Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. - 2015. - № 4 (40). - С. 113-117.
6. Голев, А. Д. Транспортное право [Текст] : метод. указания к практ. занятиям для студентов по направлениям подгот. 190600 – Эксплуатация трансп.-технол. машин и комплексов; 190700 – Технология транспортных процессов / А. Д. Голев, В. Ф. Асминин, Л. В. Брындина // ФГБОУ ВПО "Воронеж. гос. лесотехн. акад.". – Воронеж.- 2014. - 24 с.
7. Филанова, Т.В. Анализ процесса формирования системы общественных и рекреационных пространств в крупнейшем исторически сложившемся городе [Электронный ресурс] /Т.В. Филанова, Ф.В. Шуруев// Архитектон: известия вузов. – 2015. – № 49.- Режим доступа: [http://archvuz.ru/2015\\_1/5](http://archvuz.ru/2015_1/5)
8. Коган, Л.Б. Социально-культурные функции города и пространственная среда / Л.Б. Коган. – М., Стройиздат, 1982.
9. Шубин, И.Л. Влияние шумозащитных барьеров на окружающую среду/ И.Л. Шубин, Н.Е. Щурова// Вестник МГСУ.- 2010.- № 1.- С. 255-261.
10. Шубин, И.Л. Эстетическая интеграция шумозащитных барьеров в окружающую среду / И.Л. Шубин, А.М. Писарски, А.И. Никольский // Международная научно-практическая конференция «Гармонизация европейских и российских нормативных документов и защита населения от повышенного шума». – Москва, 2009.- С.- 143-156.

#### Шубин Игорь Любимович

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН», г. Москва  
Доктор технических наук, директор НИИСФ РААСН  
E-mail: [niisf@niisf.ru](mailto:niisf@niisf.ru)

#### Гребенкин Александр Михайлович

г. Тамбов  
Архитектор  
E-mail: [grebenkinalex2012@yandex.ru](mailto:grebenkinalex2012@yandex.ru)

#### Гребенкина Екатерина Владимировна

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»  
Ассистент кафедры «Архитектура и строительство зданий»  
E-mail: [Leinert11@mail.ru](mailto:Leinert11@mail.ru)

## PRINCIPLES OF DESIGN OF NOISE BARRIERS IN AN URBAN ENVIRONMENT

*Acoustic and economic efficiency of the noise barriers implemented in urban areas depends to a large extent on degree of integration into the urban environment. Often due to the lack of a proper integration, the placement of noise barriers causes negative aesthetic effects and spoils the existing urban area structures. To make a positive effect the principles of noise barriers integration in the urban structures must be provided. The article deals with the existing principles of integration of objects in the urban areas regarding noise barriers. The considered principles will help to make a better interaction between noise control installations and the existing objects at the structural, functional and architectural levels, and also to establish a dialogue between installed objects and adjacent urban spaces. The undertaken analysis covers the noise barriers integration within the historical, central and peripheral parts of the areas in provincial towns.*

**Key words:** city, town, principles of integration, noise barriers, noise protection

### BIBLIOGRAPHY

1. Pospelov, P.I. Sovrshennostvovaniye proyektirovaniya shumozashchitynykh meropriyatiy na ulitsakh i dorogakh / P.I. Pospelov, B.A. Shchit// Sbornik dokladov III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «Zashchita naseleniya ot povyshennogo shumovogo vozdeystviya». – 2011. – S. 626-637
2. Grebenkin, A.M. Printsipy proyektirovaniya shumozashchitynykh sooruzheniy v gorodskov srede s uchotom ikh integratsii / A.M. Grebenkin, Ye.V. Grebenkina, I.L. Shubin // Zhilishchnoye stroitel'stvo. – 2014. - №6. – S. 32-34
3. Shubin, I.L. Integratsiya shumozashchitynykh bar'yerov v okruzhayushchuyu sredu /I.L. Shubin, N.Ye. Shchurova// Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. - 2010. - №6. - S. 19-23
4. Sorokina, I.O. Teoreticheskiye osnovy ponyatiya «integratsiya» i printsipy yeyo osushchestvleniya [Elektronnyy resurs] / I.O. Sorokina// Menedzhment v Rossii i za rubezhom. – 2008. – № 2. – Rezhim dostupa: <http://www.mevriz.ru/articles/2008/2/4931.html>
5. Manokhin, V.YA. Razrabotka matematicheskoy modeli transportirovaniya otkhodov/ V.YA. Manokhin, V.F. Asminin// Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. - 2015. - № 4 (40). - S. 113-117.
6. Golev, A. D. Transportnoye pravo [Tekst] : metod. ukazaniya k prakt. zanyatiyam dlya studentov po napravleniyam podgot. 190600 – Ekspluatatsiya transp.-tekhnol. mashin i kompleksov; 190700 – Tekhnologiya transportnykh protsessov / A. D. Golev, V. F. Asminin, L. V. Bryndina // FGBOU VPO "Voronezh. gos. lesotekhn. akad.". – Voronezh. – 2014. - 24 s.
7. Filanova, T.V. Analiz protsessa formirovaniya sistemy obshchestvennykh i rekreatsionnykh prostranstv v krupnyeshem istoricheski slozhivshemsya gorode [Elektronnyy resurs] /T.V. Filanova, F.V. Shuruyev// Arkhitekton: izvestiya vuzov. – 2015. – № 49.- Rezhim dostupa: [http://archvuz.ru/2015\\_1/](http://archvuz.ru/2015_1/)
8. Kogan, L.B. Sotsial'no-kul'turnyye funktsii goroda i prostranstvennaya sreda / L.B. Kogan. – M., Stroyizdat, 1982.
9. Shubin, I.L. Vliyanie shumozashchitynykh bar'yerov na okruzhayushchuyu sredu/ I.L. Shubin, N.Ye. Shchurova// Vestnik MGСU.- 2010.- № 1.- S. 255-261.
10. Shubin, I.L. Esteticheskaya integratsiya shumozashchitynykh bar'yerov v okruzhayushchuyu sredu / I.L. Shubin, A.M. Pisarski, A.I. Nikol'skiy // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Garmonizatsiya evropeyskikh i rossiyskikh normativnykh dokumentov i zashchita naseleniya ot povyshennogo shuma». – Moskva, 2009.- S.- 143-156

#### **Shubin Igor Lyubimovich**

Scientific-Research Institute of Building Physics of the RAACS, Moscow

Doctor of Technical Sciences, director of Scientific-Research Institute of Building Physics of the RAACS

E-mail: [niisf@niisf.ru](mailto:niisf@niisf.ru)

#### **Grebennik Alexander Mikhaylovich**

Tambov

Architect

E-mail: [grebenkinalex2012@yandex.ru](mailto:grebenkinalex2012@yandex.ru)

#### **Grebennik Ekaterina Vladimirovna**

Tambov State Technical University

Assistant at the chair of «Architecture and Building Construction

E-mail: [Leinert11@mail.ru](mailto:Leinert11@mail.ru)

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 699.86.022.3

БЕЛАШ Т.А., ИГЛИНА А.А.

## **СОПОСТАВИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В Г. ЯКУТСКЕ**

*Проанализированы климатические факторы Центральной части Восточной Сибири, где располагается Республика Саха (Якутия). Здесь возникает наиболее сложная климатическая ситуация. Климат в Якутии резко-континентальный с суровой продолжительной зимой и жарким коротким летом. Якутск характеризуется малым количеством осадков. Отличительной чертой Якутска является большая амплитуда температур, как в зимне-летний период, так и в течение суток.*

*В статье рассмотрены стенные ограждающие конструкции различного типа. Рассмотрены: полистеролбетонные блоки по технологии «Юникон», многопустотные стенные панели из газобетона, системы с вентилируемым фасадом на газобетоне и на пенобетоне, канадская технология в виде SIP-панелей, кирпичная кладка с вентилируемым воздушным зазором. Данна сопоставительная оценка теплотехнических параметров с использованием существующей нормативной методики. Установлено, что большинство рассмотренных ограждающих конструкций отвечает нормативным требованиям, наилучшие показатели имеют системы с вентилируемыми фасадами.*

**Ключевые слова:** оценка, теплотехнические параметры (качества), стенные ограждающие конструкции, климатические условия.

Территория Российской Федерации отличается большим разнообразием климатических условий для строительства, причем с наиболее сложным климатом выделяются районы Восточной Сибири и Дальнего Востока. Среди них особое место занимают территории Республики Саха с центром в г. Якутске. Это районы, богатые полезными ископаемыми и лесом, в них развивается промышленное и гражданское строительство. Основными климатическими особенностями этого региона является наличие резкого континентального климата, который выражается в характерной разнице температуры при малом количестве осадков.

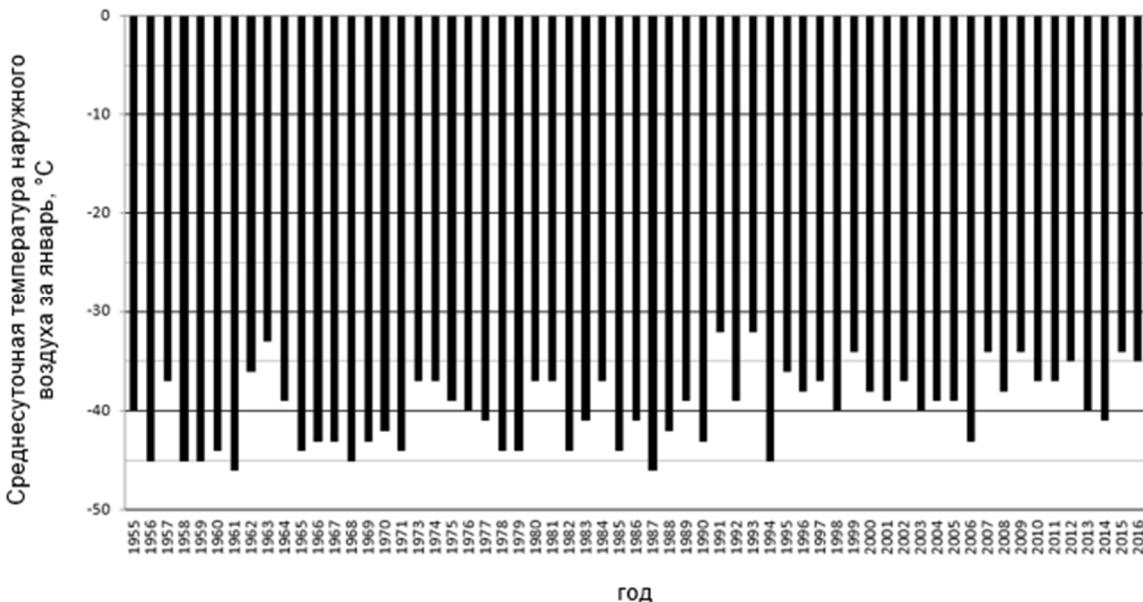
Оценка климатических параметров в Якутии в соответствии с исследованиями, представленными в работах [1,5], свидетельствует о том, что в зимний период года в основном преобладает ясная безветренная погода, или очень слабые ветры, в пределах 1 м/с. Зима малоснежная. Годовой объем осадков не превышает 200 мм, 80% которого приходится на летний период. Средняя относительная влажность воздуха самого холодного месяца (январь) составляет 76%, самого жаркого месяца (июль) вечером - 69% и днем - 46%. В данном регионе свойственно появление густого тумана и инея в течение всего года.

Согласно данным СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» в таблице 1 приведены средняя месячная и годовая температуры воздуха, анализ которых свидетельствует, о том, что наиболее низкая температура возникает в январе и составляет около минус 39,6°C.

Таблица 1 – Средняя месячная и годовая температуры воздуха

Республика, край, область, пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Якутск	-39,6	-35,0	-20,8	-5,2	7,3	16,1	19,1	15,1	5,9	-8,0	-28,2	-38,1	-9,3

Изменение среднесуточной температуры в Якутске за последние 60 лет согласно [2] составило от -32°C до -46°C. На рисунке 1 приведена гистограмма среднесуточной температуры наружного воздуха в январе с 1955 по 2016 гг.



*Рисунок 1 - Гистограмма среднесуточной температуры наружного воздуха в январе с 1955г. по 2016г.*

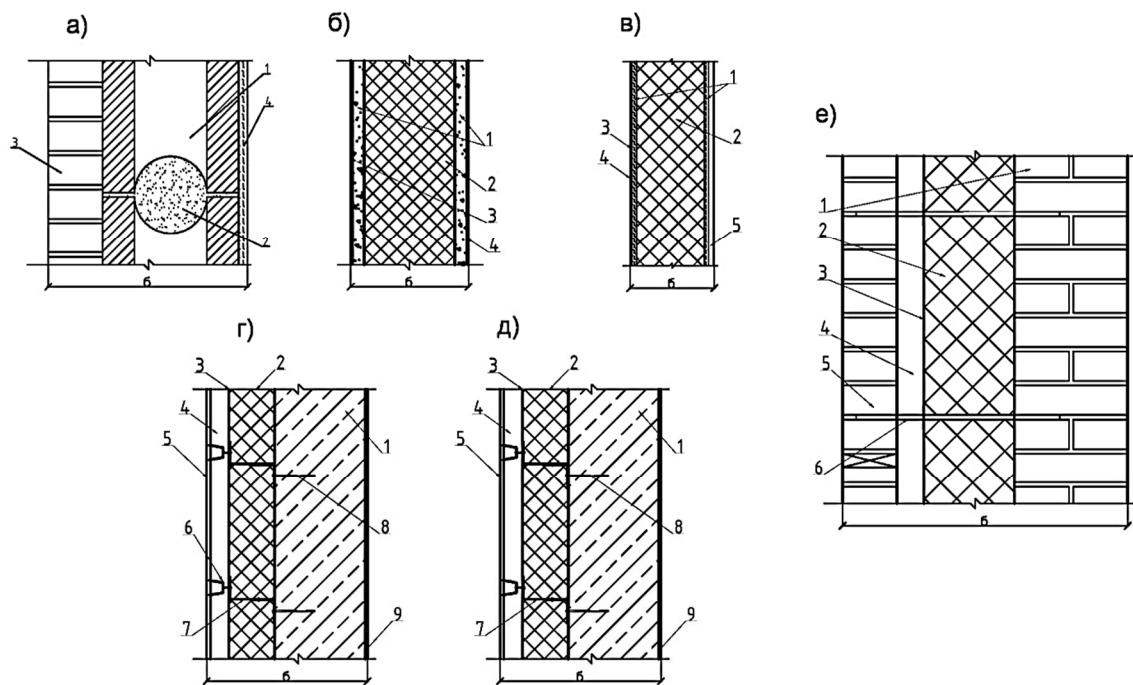
Неблагоприятные климатические факторы оказывают существенное влияние на формирование комфортной среды обитания человека, создание которой достигается за счет применения эффективных ограждающих конструкций.

Одними из первых работ, посвященных экспериментальному изучению влияния климата на ограждающие конструкции, были исследования, выполненные, например, Гавриловой М.К. [1], Абрамовой П.С. [3], Местниковым А.Я. [4,6], Завариной М.В. [7] и другими [8,9,10]. А этих исследованиях отмечалось, что для обеспечения работы ограждающих конструкций за весь период эксплуатации здания, важным фактором является то обстоятельство, что ограждающие конструкции подвергаются постоянному замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высушиванию. Поэтому наружные стены должны обладать хорошими качествами, прежде всего, по морозостойкости, должны сохранять целостность структуры при большом перепаде температур, обеспечивать необходимые комфортные условия проживания.

В настоящее время на строительном рынке появилось большое количество различных предложений по реализации эффективных стеновых ограждающих конструкций. Это применение различных утеплителей, конструктивных решений в виде фасадных систем, облицовочных материалов, новых технологий и т.д. Все эти конструкции могут быть востребованы в современном строительстве. Однако, представляет практический интерес сопоставление результатов теплофизических параметров этих конструкций, в том числе и по стоимости.

Для исследования был отобран ряд ограждающих конструкций, представленных ниже.

На рисунке 2а показана ограждающая конструкция, представляющая собой полистиролбетонные перекрестно-пустотные блоки по технологии «Юникон», укладываемых на плотном клею, с наружной стороны облицованные пустотным кирпичом (тип 1). На рисунке 2б представлена многопустотная стеновая панель с заполнением из пенопласта (тип 2). Круглые пустоты располагаются вдоль газобетонной панели с определенным шагом, которые заполняются безусадочным утеплителем в виде фенольного пенопласта марки ФПБ. На рисунке 2в изображена схема SIP-панели, выполненной по «канадской технологии» (тип 3), состоящая из внутренней плиты ОСП, пенополистирола, выполняющего функцию теплоизоляционного материала, а наружного слоя из ОСП. На рисунках 2г и 2д представлены ограждающие конструкции с использованием систем вентилируемого фасада, отличающиеся несущим слоем: на газобетоне (тип 4) и на пенобетоне (тип 5), соответственно. В качестве утеплителя применена минераловатная плита «ROCKWOOL». На рисунке 2е отображена ограждающая конструкция с вентилируемым воздушным зазором (тип 6), состоящая из кирпичной кладки, слоя утеплителя, выполненного из минеральной (каменной) ваты), и облицовочного кирпича.



**Рисунок 2 - Схемы стеновых ограждающих конструкций:** а) тип 1: 1-полистеролбетонные перекрестно-пустотные блоки, 2-плотный клей, 3-облицовочный пустотный кирпич, 4-внутренняя отделка; б) тип 2: 1-стеновая панель из газобетона, 2-утеплитель безусадочный фенопласт марки ФПБ, 3-внешняя отделка, 4-внутренняя отделка; в) тип 3: 1-ОСП-3 плита, 2- пенополистирол, 3-защитная пленка, 4-наружный отделочный слой, 5- внутренняя отделка; г) тип 4: 1-газобетонный блок, 2- минераловатная плита Rockwool, 3- влаговетрозащитная пленка, 4- воздушный зазор, 5- облицовочные панели, 6 – металлическое крепление, 7 – кронштейн, 8-пластиковый дюбель со стальным стержнем, 9 – внутренняя отделка; д) тип 5: 1-пенобетонный блок, 2- минераловатная плита Rockwool, 3- влаговетрозащитная пленка, 4- воздушный зазор, 5- облицовочные панели, 6 – металлическое крепление, 7 – кронштейн, 8-пластиковый дюбель со стальным стержнем, 9 – внутренняя отделка; е) тип 6: 1 - кирпичная кладка, 2 – минераловатная плита, 3- влаговетрозащитная мембрана, 4- вентилируемый воздушный зазор, облицовочный кирпич, 6- анкер крепления

Для оценки теплофизических параметров ограждающих конструкций для г. Якутска были использованы рекомендации, представленные в нормативных документах, таких как СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий, СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий, ТСН 23-343-2002 «Республика Саха (Якутия). Теплозащита и энергопотребление жилых и общественных зданий» и др. Результаты сопоставительного исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сводная таблица

№ п/п	Тип кон- струкции	Толщина утеплителя $\delta_{ut}$ , м	Общая толщи- на конструкции $\delta_{общ}$ , м	Минимальное требу- емое сопротивление теплопередаче $R_0^{тр}$ , м <sup>2</sup> .°C/Bт	Приведенное со- противление теп- лопередаче $R_0^{пп}$ , м <sup>2</sup> .°C/Bт	Стоимость, руб/м <sup>3</sup>
1	Тип 1	-	0,44	5,13	4,04	3650
2	Тип 2	0,21	0,43	5,13	5,21	4000
3	Тип 3	0,15	0,174	5,13	5,008	6050
4	Тип 4	0,15	0,441	5,13	5,36	3500
5	Тип 5	0,15	0,441	5,13	5,36	5000
6	Тип 6	0,2	0,63	5,13	5,29	5500

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

- Большинство рассмотренных конструктивных решений стено-ограждающих конструкций отвечает современным нормативным требованиям.
- Среди рассмотренных конструктивных решений ограждающих конструкций наиболее эффективные показатели с точки зрения толщины утеплителя, толщины самой ограждающей конструкции, и ее стоимости имеют системы с вентилируемыми фасадами, при

этот стоимость системы вентилируемого фасада на газобетоне существенно ниже, чем на пеноизвестковом. Именно эти системы получили достаточно широкое распространение в современном строительстве различных зданий и могут быть рекомендованы и для г. Якутска.

3. Использование многопустотных стеновых панелей из газобетона позволяет также достичь требуемых показателей при сравнительно низкой стоимости, однако, на технологию их изготовления и монтаж требуются значительные трудозатраты, что следует иметь в виду при их применении.

4. Использование канадской технологии не удовлетворяет требованиям в полной мере, но возможно повысить теплотехнические показатели ограждающей конструкции за счет применения более эффективного утеплителя, или увеличения его толщины. Но стоимость такой конструкции выше, чем у других видов ограждающих конструкций. На практике целесообразность применения этих конструкций оправдана только в малоэтажном домостроении.

5. Конструкция из полистеролбетонных блоков по технологии «Юникон» не удовлетворяет требованиям по теплопередаче для г. Якутска. Возможно повышение теплофизических свойств за счет применения дополнительного слоя утеплителя. Но изготовление таких блоков возможно только на заводе в Москве, доставка до г. Якутска будет значительно увеличивать себестоимость конструкции и стоимость строительства здания в целом.

6. Кирпичная кладка с вентилируемым воздушным зазором удовлетворяет требованиям теплопередаче, но ее общая толщина намного выше, чем у других предложенных конструкций. Монтаж данной конструкции достаточно трудоемкий и требует больших затрат времени и сил.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии. - Якутск;1973. —119с.
2. Статистика городов России [Электронный ресурс] // Интернет-сайт. – Режим доступа: [http://www.atlas-yakutia.ru/weather/stat\\_weather\\_249590.php](http://www.atlas-yakutia.ru/weather/stat_weather_249590.php) Дата обращения 01.10.16
3. Абрамова П.С. Исследование морозостойкости керамзитобетона для ограждающих конструкций: Дис. канд. техн. наук. — М.: МИСИ, 1973. —137с.
4. Местников А. Е., Тепловая защита зданий на Севере: материалы, изделия и конструкции / А. Е. Местников, П. С. Абрамова, Т. С. Антипкина, А. Д. Егорова; [отв. ред. д.т.н. А. В. Степанов] Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования Рос. Федерации, Якут. гос. ун-т им. М. К. Аммосова. - Москва: Изд-во АСВ, 2009. - 237 с.
5. Абрамова П.С. Исследование морозостойкости керамзитобетона для ограждающих конструкций: Дис. канд. техн. наук. — М.: МИСИ, 1973. —137с.
6. Местников А.Е. Теплоизоляционные материалы для простых ограждающих конструкций, работающих в суровых условиях эксплуатации: Дис д-ра техн. наук.— М.: МГСУ (МИСИ),1999.-307с.
7. Заварина М.В. Строительная климатология. / М.В. Заварина.—Л.:Гидрометеоиздат,1976.- 312с.
8. Проблемы строительства в Республике Саха (Якутия) : Сб. науч. тр. / Якут. гос. ун-т им. М. К. Аммосова; [Редкол.: М. А. Викулов (отв. ред.), Г. Г. Турантаев]. - Якутск : Изд-во ЯГУ, 1994.- 114 с.
9. Горлов Ю.П. О некоторых современных проблемах строительного материаловедения// Изв. вузов. Строительство. 1996. №1. С.39-42
10. Данилов, Н.Д. Разработка технических решений долговечных и экономичных наружных стен зданий / Н.Д. Данилов, А.А. Собакин, С.С. Семенов // Промышленное и гражданское строительство. - 2010. - № 4. - С. 18-19.

#### Белаш Татьяна Александровна

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург  
доктор технических наук  
профессор, заведующая кафедрой «Здания»,  
e-mail: [belashta@mail.ru](mailto:belashta@mail.ru),  
телефон: +79219910115

#### Иглина Ангелина Александровна

Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург  
Магистр  
e-mail: [iglinaangelina@yandex.ru](mailto:iglinaangelina@yandex.ru)

---

T. BELASH, A. IGLINA

## COMPARISON OF THERMAL ENGINEERING PROPERTIES OF FRAMING STRUCTURES IN YAKUTSK

*Climatic factors of the Central part of Eastern Siberia where the Republic of Sakha (Yakutia) is located are analysed. There is the most difficult climatic situation. Climate in Yakutia sharp and continental with severe long winter and in the hot short summer. Yakutsk is characterized by a low rainfall. Distinctive feature of Yakutsk is the big amplitude of temperatures, as during the winter and summer period, and within a day.*

*In article the wall protecting designs of various type are considered. Are considered: polisterol-betonny blocks on technology Unikon, multihollow wall panels from a gas concrete, systems with the ventilated facade on a gas concrete and on foam concrete, the Canadian technology in the form of SIP panels, a bricklaying with the ventilated air gap. A comparative assessment of heattechnical parameters with use of the existing standard technique is given. It is established that the majority of the considered protecting designs meets the standard requirements, the best indicators have systems with the ventilated facades.*

**Keywords:** an assessment, heattechnical parameters (qualities), the wall protecting designs, climatic conditions.

### BIBLIOGRAPHY

1. Gavrilova M.K. Klimat Tsentral'nov Yakutii. - Yakutsk;1973. —119s.
2. Statistika gorodov Rossii [Elektronnyy resurs] // Internet-sayt. – Rezhim dostupa: [http://www.atlas-yakutia.ru/weather/stat\\_weather\\_249590.php](http://www.atlas-yakutia.ru/weather/stat_weather_249590.php) Data obrashcheniya 01.10.16
3. Abramova P.S. Issledovaniye morozostoykosti keramzitobetona dlya ogranzhdayushchikh konstruktsiy: Dis. kand. tekhn. nauk. — M.: MISI, 1973. —137s.
4. Mestnikov A. Ye., Teplovaya zashchita zdaniy na Severe: materialy, izdelyiya i konstruktsii / A. Ye.Mestnikov, P.S. Abramova, T.S. Antipkina, A.D. Yegorova; [otv. red. d.t.n. A. V. Stepanov] Gos. obrazovat. uchrezhdeniye vyssh. prof. obrazovaniya Ros. Federatsii, Yakut. gos. un-t im. M. K. Ammosova. - Moskva: Izd-vo ASV, 2009. - 237 s.
5. Abramova P.S. Issledovaniye morozostoykosti keramzitobetona dlya ogranzhdayushchikh konstruktsiy: Dis. kand. tekhn. nauk. — M.: MISI, 1973. —137s.
6. Mestnikov A.Ye. Teploizolyatsionnye materialy dlya prostykh ogranzhdayushchikh konstruktsiya, rabotayushchikh v surovyykh usloviyakh ekspluatatsii: Dis d-ra tekhn. nauk.— M.: MGSU (MISI),1999.-307s.
7. Zavarina M.V. Stroitel'naya klimatologiya. / M.V. Zavarina.–L.:Gidrometeoizdat,1976.- 312s.
8. Problemy stroitel'stva v Respublike Sakha (Yakutiya) : Sb. nauch. tr. / Yakut. gos. un-t im. M. K. Ammosova; [Redkol.: M. A. Vikulov (otv. red.), G. G. Turantayev]. - Yakutsk : Izd-vo YAGU, 1994.- 114 s.
9. Gorlov Y.U.P. O nekotorykh sovremennykh problemakh stroitel'nogo materialovedeniya// Izv. vuzov. Stroitel'stvo. 1996. №1. S.39-42
10. Danilov, N.D. Razrabotka tekhnicheskikh resheniy dolgovechnykh i ekonomichnykh naruzhnykh sten zdaniy / N.D. Danilov, A.A. Sobakin, S.S. Semenov // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. - 2010. - № 4. - S. 18-19.

#### T. Belash

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg  
Doctor of Technical Sciences  
Professor, head of the department "Buildings"  
E-mail: belashta@mail.ru,

#### A. Iglina

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg  
Master-student  
E-mail: iglinaangelina@yandex.ru

УДК 691.175.771

БОГОМОЛОВА Л.К., ГУЗОВА Э.С., ИЛЬНИЦКИЙ В.Д.

## О ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*Предложена методика комплексной ускоренной оценки долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций (СОК): герметиков, уплотнительных прокладок, стеклопакетов и алюминиевых профилей для структурного остекления современных фасадных систем под действием климатических факторов. Сущность метода заключается в проведении ускоренных лабораторных испытаний циклическими воздействиями переменных положительных и отрицательных температур, влажности, ультрафиолетового облучения, слабоагрессивных химических сред (растворов) и соляного тумана (для алюминиевых профилей). На основе фундаментальных исследований по климатическому старению строительных материалов были разработаны два новых режима комплексных ускоренных испытаний под действием климатических факторов умеренной зоны РФ для: герметиков, уплотнительных прокладок и стеклопакетов (режим 1) и алюминиевых профилей (режим 2). Рассмотрены требования к организации и проведению комплексных ускоренных испытаний, к испытательному оборудованию, к испытываемым образцам. Критерием оценки результатов испытаний является снижение значений основных характеристик изделия после заданного числа циклов испытаний для каждого показателя. Установлены характерные критерии оценки долговечности элементов СОК.*

**Ключевые слова:** уплотнительные прокладки, герметики, стеклопакеты, алюминиевые профили, светопрозрачные конструкции, методика комплексных испытаний, долговечность, климатические циклические воздействия, критерии оценки, стандарт.

Изменения основных свойств новых полимерных строительных материалов, их эксплуатационные характеристики и срок службы зависят от климатических условий эксплуатации, агрессивности окружающей среды и определяются совокупностью физико-механических показателей. При всем разнообразии отечественных и зарубежных строительных материалов давно назрела необходимость более жесткого контроля их качества применительно к разным климатическим условиям России. Этот вопрос поднимался еще в конце 90-х годов [1].

Важным этапом в решении этой проблемы было вышедшее в 2003 г. Распоряжение № 51 руководителя строительного комплекса г. Москвы В.И.Ресина «О повышении долговечности строительных материалов, изделий и конструкций, применяемых при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте зданий и сооружений в г. Москве».

С этой целью специалистами ИЛ «Стройполимертест» совместно с отделом стандартизации строительных материалов Минстроя России были разработаны методики испытаний на долговечность ПВХ профилей, стеклопакетов, уплотняющих прокладок, которые прошли многократную апробацию при сертификационных испытаниях оконных блоков. В основу всех методик былложен комплекс циклических нагрузок, имитирующих климатические воздействия на светопрозрачные конструкции на территории РФ [2]. На основе этих методик впоследствии были разработаны соответствующие ГОСТы: на ПВХ профили - ГОСТ 30973-2002, на стеклопакеты - ГОСТ 30779-2001, на уплотнители - ГОСТ 31362-2007. Однако максимальные сроки долговечности по этим стандартам составляли 20 условных лет для уплотнителей и стеклопакетов и не распространялись на структурное остекление фасадных конструкций. Долговечность облицовочных профилей из алюминиевых сплавов по ГОСТ 2479-60-99 составляла также 20 условных лет.

В настоящее время существенно увеличиваются сроки эксплуатации зданий и сооружений, растут требования к материалам, из которых строятся объекты, возрастают требования к качеству и долговечности элементов структурного остекления, таких как алюминиевые профили, уплотняющие прокладки, герметики и стеклопакеты для светопрозрачных ограждающих конструкций (СОК). Одним из важнейших технических требований к элементам фасад-

ных конструкций высотных зданий также является долговечность, которая должна составлять не менее 40 условных лет эксплуатации.

НИИСФ РААСН в качестве ведущего научно-исследовательского института и экспертического центра России участвует в решении проблем строительной физики, долговечности и экологии строительной продукции при возведении уникальных высотных зданий в Москве, таких как Московский международный деловой центр «Москва-Сити», а также Общественно-деловой центр «Лахта» в Санкт-Петербурге [3]. Специалистами НИИСФ РААСН разрабатывается методика мониторинга СОК, базирующаяся на российской нормативно-строительной базе и специально разработанных методах испытаний [4].

В испытательной лаборатории №10-2 «Стройполимертест» НИИСФ РААСН по итогам работы в течение 2007-2015 г.г. был накоплен значительный опыт по оценке долговечности различных материалов и элементов СОК: герметиков, стеклопакетов, уплотнительных прокладок, алюминиевых профилей для фасадных систем. Проведение лабораторных ускоренных испытаний перечисленных элементов СОК дало возможность собрать и проанализировать полученные данные, позволяющие установить допустимый диапазон изменений характерных показателей старения материалов в умеренном климате РФ.

Наличие в ИЛ «Стройполимертест» НИИСФ РААСН хороших базы испытательного оборудования и средств измерения, таких как: установка ультрафиолетового облучения с ксеноновыми источниками излучения, термокриокамера «Брабендер» (Германия), холодильная камера «Занусси», термошкафы «СНОЛ», универсальные испытательные машины «ЦВИК» (Германия), спектрофотометр «Минольта», блескомер для оценки цветовых показателей и камера соляного тумана позволяет разрабатывать различные методики оценки долговечности отдельных элементов СОК для современных фасадных систем и соответствующие стандарты организации:

За 2010-2013 г.г. были разработаны следующие стандарты:

1. СТО 02495359-3.001-2010 «Стандарт НИИСФ РААСН. Метод оценки коррозионной стойкости алюминиевых профилей для светопрозрачных ограждающих конструкций под действием соляного тумана».
2. СТО 02495359-3.002-2011 «Стандарт НИИСФ РААСН. Методика определения долговечности герметиков различного функционального назначения для светопрозрачных ограждающих конструкций».
3. СТО 02495359-3.003-2012 «Стандарт НИИСФ РААСН. Методика определения долговечности уплотнительных прокладок для светопрозрачных ограждающих конструкций с учетом природно-климатических воздействий в условиях эксплуатации».
4. СТО 02495359-3.001-2013 «Стандарт НИИСФ РААСН. Метод определения долговечности алюминиевых профилей светопрозрачных ограждающих конструкций под воздействием климатических факторов».

В основу методик положен комплекс циклических нагрузок, имитирующих климатические воздействия на элементы СОК. Методики ускоренных лабораторных испытаний созданы применительно к условиям эксплуатации на базе СНиП 2.01.-82 «Строительная климатология и геофизика», а также ГОСТ 16350-80 «Климат СССР. Районирование и характеристика климатических параметров для промышленных зданий». Сущность этих методик заключается в проведении ускоренных лабораторных испытаний циклическими воздействиями переменных положительных и отрицательных температур, влажности, ультрафиолетового облучения и слабоагрессивных химических сред (растворов).

Что касается стеклопакетов строительного назначения, то для них с 01 января 2000 г. вступил в силу ГОСТ 24866-99 «Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия» и с 01 июля 2002 г. - ГОСТ 30779-2001 «Стеклопакеты строительного назначения. Метод определения сопротивления атмосферным воздействиям и оценки долговечности». А с 01 апреля 2016 г. взамен вышеуказанных выше стандартов были введены новые стандарты: ГОСТ 24866-2014 «Стеклопакеты клееные. Технические условия» и ГОСТ 30779-2014 «Стеклопакеты клееные. Метод оценки долговечности».

Разработанные нами методики учитывают опыт зарубежных испытаний в части их методологии. При разработке методик учитывался опыт, накопленный нами по проведению ис-

пытаний алюминиевых профилей, уплотнительных прокладок и стеклопакетов фирмы «GARTNER» (Германия) и компании «Shenyang Yuanda Aluminium Industry Tngineering Co., Ltd» (Китай) при возведении зданий Общественно-делового центра «Лахта» в Санкт-Петербурге и Московского международного делового центра «Москва-Сити». С целью мониторинга строительства фасадных светопрозрачных конструкций была проведена оценка соответствия применяемых алюминиевых профилей по цветовым характеристикам и толщине лакокрасочного покрытия требованиям нормативно-техническим документам в строительстве [5-9].

Однако определение долговечности каждого элемента требовало большого количества времени [10].

Учитывая длительность проведения испытаний на долговечность каждого элемента, было решено в 2014-2015 г.г. поставить работу по теме «Метод комплексной ускоренной оценки долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций для современных фасадных систем под действием климатических факторов» и разработать СТО 02495359-3.002-2014 «Стандарт НИИСФ РААСН. Метод комплексной ускоренной оценки долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций для современных фасадных систем под действием климатических факторов».

Постановка такой работы позволяла значительно сократить время испытаний этих элементов и максимально использовать оборудование.

На основе фундаментальных исследований по климатическому старению строительных материалов были выбраны два режима комплексных ускоренных испытаний под воздействием климатических факторов умеренной зоны РФ для:

- герметиков, уплотнительных прокладок и стеклопакетов (режим 1) ;
- алюминиевых профилей (режим 2).

Рассмотрены требования к организации и проведению комплексных ускоренных испытаний, к испытательному оборудованию, к испытуемым образцам, к критериям и методам оценки результатов испытаний.

В процессе работы над методикой комплексных ускоренных испытаний были рассмотрены и проанализированы отечественные и зарубежные методики и стандарты по элементам СОК для современных фасадных систем, типы СОК, варианты остекления. Особое внимание удалено методам оценки коррозионной стойкости металлов и сплавов, металлических и неметаллических покрытий и лакокрасочных материалов.

Так, например, алюминиевые профили являются одним из главных элементов для светопрозрачных ограждающих конструкций. Готовые профили из алюминиевых сплавов системы алюминий-магний-кремний имеют защитно-декоративное покрытие, предохраняющее металлический сплав от коррозии и сохраняющее другие декоративные свойства рабочих поверхностей профилей. Качественная порошковая краска, нанесенная промышленным способом, выполняет те же функции, что и грунтовка. Одним из важнейших свойств лакокрасочного материала (далее ЛКМ) является климатическая стойкость покрытия или его долговечность (срок службы), в течение которого лакокрасочное покрытие (ЛКП) сохраняет свои защитные, физико-механические, декоративные свойства в процессе эксплуатации под действием климатических факторов, присущих данному региону. Качество профильных систем регулируется рядом нормативных документов: СНиП 2.03.06-85 «Алюминиевые конструкции», ГОСТ 22233-2001 «Профили прессованные из алюминиевых сплавов для светопрозрачных ограждающих конструкций», ГОСТ 21519-2003 «Блоки оконные из алюминиевых сплавов. Технические условия».

Анализ литературных данных показал, что методы оценки долговечности герметиков, применяемых в светопрозрачных ограждающих конструкциях фасадных систем, отсутствуют. Ранее упомянутый метод оценки долговечности герметиков не распространяется на структурное остекление, однако, положительными моментами являлось то, что в нем уже содержалось понятие срока службы герметика по режимам годового цикла, включающего комплекс эксплуатационных воздействий применительно к одному году эксплуатации. В обычных стеклопакетах применяются герметики на основе полисульфида и полиуретана. Герметики на основе

полисульфиды используются в производстве стеклопакетов уже много лет. Они зарекомендовали себя как надежное средство герметизации второго контура kleеных стеклопакетов. На сегодняшний день, данный тип герметиков является наиболее подходящим для эксплуатации в жестких российских климатических условиях. Но всё больше крупных известных компаний переходят на полиуретан. Он обеспечивает более долгий срок службы, больше гарантий на свои изделия и экономию средств.

Еще одним элементом структурного остекления являются стеклопакеты. Стойкость стеклопакетов к воздействию климатических факторов оценивается по ГОСТ 30779-2014 «Стеклопакеты kleеные. Метод оценки долговечности».

Критерий стойкости – отсутствие разгерметизации и сохранение величины точки росы. По существу, эти испытания подтверждают качество изготовления изделия из качественных материалов. Однако в этом стандарте в качестве климатических воздействий взяты лишь положительные и отрицательные температуры, влажность, т.е. не учтены агрессивные факторы климатических воздействий такие, как ультрафиолетовое облучение, слабоагрессивное воздействие химических сред, что характерно для климата России.

Уплотнитель - это специальная упругая эластичная прокладка сложной конфигурации, которая отвечает за максимально плотный прижим оконной створки к раме. Уплотнители сохраняют свои функциональные свойства в широком интервале температур в течение длительного срока эксплуатации. Они применяются в качестве защиты от проникновения из окружающей среды звука, воздуха и влаги за пределы окна во внутрь помещения. Очень важную роль играет материал, из которого изготовлены уплотнительные прокладки. Современные уплотнители изготавливаются из высококачественного материала на высокотехнологичном оборудовании методом экструзии. Благодаря своим качествам применение уплотнителей в окнах стало повсеместным и позволяет создать непреодолимый барьер для воздействия погодных условий на внутренний климат помещения. От уплотнителей зависит целый ряд свойств (СОК) таких, например, как воздухо-и шумопроницаемость, водопроницаемость и др.

Полимерные материалы, применяемые для изготовления уплотнителей, приведены в ГОСТ 28860-90 «Каучуки и латексы. Номенклатура» и обозначаются следующими типами:

- EPDM - этиленпропилендиеновый каучук;
- EPM - этиленпропиленовый каучук;
- VMQ - силиконовый каучук;
- CR - хлоропреновый каучук;
- TPE – термоэластопласт.

В настоящее время на российском рынке доминируют уплотнители из EPDM.

Для оценки долговечности уплотнителей введен в действие соответствующий ГОСТ 31362-2007 «Прокладки уплотняющие для оконных и дверных блоков. Метод определения сопротивления эксплуатационным воздействиям».

Разработанный нами метод комплексной ускоренной оценки долговечности элементов СОК распространяется на герметики различного функционального назначения, уплотнительные прокладки, алюминиевые профили и стеклопакеты kleеные строительного назначения, предназначенные для устройства современных фасадных систем и определяет их долговечность (стойкость) в условиях ускоренных испытаний под действием климатических факторов. В основе испытаний лежит сочетание комплексного воздействия внешних факторов (положительные и отрицательные температуры, УФ-облучение, орошение слабоагрессивными химическими растворами, соляного тумана для алюминиевых профилей). При этом следует учитывать, что основной целью ускоренных испытаний является не безусловное моделирование внешних факторов, а наиболее точное воспроизведение тех изменений характеристик материалов, которые ожидаются в процессе старения при эксплуатации.

Критерием оценки результатов испытаний является снижение значений основных характеристик изделия после заданного числа циклов испытаний. Величины допускаемого снижения значений характеристик для каждого показателя и вида продукции различны, но не являются критическими, по сути дела их можно обозначить как коэффициент запаса.

## Строительство и реконструкция

В качестве характерных критериев оценки долговечности герметиков, уплотнительных прокладок и стеклопакетов приняты следующие физико-механические показатели и их изменения в процессе оценки долговечности (таблицы 1, 2 и 3):

**Таблица 1 - Герметики**

№№ п/п	Наименование показателя	Норма через	
		24 цикла (20 УГЭ)	48 циклов (40УГЭ)*
1	2	3	4
1.	Твердость по Шору А, ед.Шора	Не должна быть более 20 % от исходной величины	Не должна быть более 30 % от исходной величины
.	Условная прочность, МПа	Не должна быть более 25 % от исходной величины	Не должна быть более 35 % от исходной величины
3.	Относительное удлинение при разрыве, %	Не должно быть более 35% от исходной величины	Не должно быть более 50% от исходной величины
4.	Условная прочность в момент разрыва на образцах-швах, МПа	Не должна быть более 25 % от исходной величины	Не должна быть более 35 % от исходной величины
5.	Относительное удлинение в момент разрыва на образцах-швах, %	Не должно быть более 35% от исходной величины	Не должно быть более 50% от исходной величины
6	Адгезия (прочность сцепления с приклеиваемым материалом), МПа	Не должна быть более 20 % от исходной величины	Не должна быть более 30 % от исходной величины
7.	Гибкость на брусе с закруглением радиусом 10 мм при температуре минус 50 <sup>0</sup> С	На поверхности образца не должно быть трещин	

\* УГЭ – условный год эксплуатации

**Таблица 2 - Уплотнительные прокладки**

№№ п/п	Наименование показателя	Норма через	
		24 цикла (20 УГЭ)*	48 циклов (40УГЭ)*
1	2	3	4
1.	Разрушающая нагрузка, Н	Не должна быть более 20 % от исходной величины	Не должна быть более 30 % от исходной величины
2.	Относительное удлинение при разрыве, %	Не должно быть более 25 % от исходной величины	Не должно быть более 35 % от исходной величины
3.	Изменение линейных размеров после теплового воздействия, %	Не более 1,5%	Не более 2,0%
4.	Водопоглощение, %	Не более 0,7 %	Не более 1,0 %
5.	Гибкость на брусе с закруглением радиусом 10 мм при минус 50 <sup>0</sup> С	На поверхности образца не должно быть трещин	

**Таблица 3 - Стеклопакеты**

№№ п/п	Наименование показателя	Норма через	
		24 цикла (20УГЭ)*	48 циклов (40УГЭ)*
1	2	3	4
1.	Температура точки росы, <sup>0</sup> С	Не должно быть выше температуры минус 45 <sup>0</sup> С	
2.	Эффективность влагопоглотителя	Не должна быть ниже 20 <sup>0</sup> С для силикагелей и 35 <sup>0</sup> С для молекулярного сита	

В качестве искусственных климатических факторов при ускоренных лабораторных испытаниях уплотнительных прокладок, герметиков и стеклопакетов были приняты следующие циклические воздействия:

- положительных и отрицательных температур;
- ультрафиолетового облучения;
- слабоагрессивных химических сред (растворов),

В качестве характерных критериев оценки долговечности алюминиевых профилей, были приняты следующие физико-механические показатели и их изменения в процессе ускоренного старения, приведенные в таблице 4.

**Таблица 4 - Алюминиевые профили**

№№ п/п	Наименование показателя	Норма через		
		24 цикла (20 УГЭ)	48 циклов 40 УГЭ)*	
1	2	3	4	
1.	Адгезия, балл	Не должна быть более 1 балла		
2.	Цветовые характеристики по координатному методу	Не должны быть выше предельных отклонений $L^* \leq 5,5$ ; $a^* \leq 0,8$ ; $b^* \leq 3,5$		
3.	Блеск, %	Не должен превышать 50 % от исходной величины		
4.	Несущая способность зон соединения при сдвиге, Н/мм	Не должна быть более 20 % от исходной величины	Не должна быть более 30 % от исходной величины	
5.	Несущая способность зон соединения при поперечном растяжении, Н/мм	Не должна быть более 20 % от исходной величины	Не должна быть более 20 % от исходной величины	
6.	Коррозионная стойкость к действию соляного тумана (тест MAXA), ч	Глубина проникновения коррозии не должна превышать 0,5 мм по обе стороны насечки; 48 ч	Глубина проникновения коррозии не должна превышать 0,5 мм по обе стороны насечки; 48 ч	

В качестве искусственных климатических факторов при ускоренных лабораторных испытаниях алюминиевых профилей были приняты следующие циклические воздействия:

- ультрафиолетового облучения;
- слабоагрессивных химических сред (растворов),
- положительных и отрицательных температур;
- соляного тумана.

Испытания на долговечность герметиков, прокладок и стеклопакетов проводят по режиму, приведенному в таблице 5.

**Таблица 5**

Вид испытаний и продолжительность, ч							
Воздействие раствора соли	УФ-облучение	Воздействие щелочным раствором	Выдержка в воде	Воздействие кислым раствором	Замораживание	Оттаивание	Нагрев
0,4	3,0	0,3	2,0	0,3	3,0	1,0	13,0
<b>Примечание.</b>							
1. Время повышения и снижения температуры при замораживании и нагреве образцов входит во временные интервалы, указанные в таблице, и должно составлять не более 40 мин. 2. Изменение температуры не должно превышать 3 °C/мин. 3. Замораживание при температуре (45±2)°C и оттаивание – (20±2)°C. 4. Температура испытаний, если нет никаких других указаний, должна быть (23±5) °C. 5. Температура нагрева прокладок - 100°C, герметиков - 150°C, стеклопакетов - 70°C. 6. Физико-механические свойства образцов определяют не ранее чем через 8 ч после окончания воздействия климатических факторов.							

Испытания на долговечность алюминиевых профилей проводят по режиму, приведенному в таблице 6.

Общая продолжительность испытания, равная 23 ч, принимается за 1 цикл.

12 циклов испытаний приравнивают к 10-ти УГЭ.

После 24 и 48 циклов климатических испытаний, что соответствует 20 и 40 УГЭ, определяют физико-механические свойства, приведенные в таблицах 1-4 настоящей методики.

Оценку результатов испытания на долговечность под действием искусственных климатических факторов проводят путем сравнения значений каждого характерного показателя, полученного после проведения испытаний, с результатами контрольных испытаний.

**Таблица 6**

Вид испытаний и продолжительность, ч						
Воздействие соляно-го тумана	Высушивание	УФ-облучение	Орошение щелочным раствором	Замораживание	Оттаивание	Орошение кислым раствором
12,0	3,0	3,0	0,5	3,0	1,0	0,5

**Примечание.**

- Время повышения и снижения температуры при замораживании образцов входит во временные интервалы, указанные в таблице, и должно составлять не более 40 мин.
- Изменение температуры не должно превышать 3 °С/мин.
- Температура испытаний, если нет никаких других указаний, должна быть (23±5) °С.
- Физико-механические свойства образцов определяют не ранее чем через 8 ч после окончания воздействий климатических факторов.

Изменение характерного показателя долговечности для образца  $Y_{отн.}$ , %, вычисляют по формуле:

$$Y_{отн.} = \frac{Y_{конт} - Y_{исп}}{Y_{конт}} \cdot 100\%,$$

где  $Y_{конт}$  – значение контрольного показателя;  $Y_{исп}$  – значение показателя после испытания.

Показатели, имеющие числовое выражение, вычисляют как среднее арифметическое значение всех испытанных образцов.

На основе разработанного метода создан СТО 02495359-3.002-2014 «Стандарт НИИСФ РААСН. Метод комплексной ускоренной оценки долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций для современных фасадных систем под действием климатических факторов».

#### **Выводы:**

1. На основании многолетних исследований на долговечность отдельных элементов СОК: герметиков, уплотнителей, стеклопакетов и алюминиевых профилей разработана методика комплексных ускоренных лабораторных испытаний для умеренного климата РФ, позволяющая значительно сократить время испытаний и максимально использовать испытательное оборудование.

2 Установлены критерии оценки долговечности для каждого отдельного элемента СОК, позволяющие определять срок службы в эксплуатационных условиях.

3. На основе разработанного метода создан СТО 02495359-3.002-2014 «Стандарт НИИСФ РААСН. Метод комплексной ускоренной оценки долговечности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций для современных фасадных систем под действием климатических факторов».

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Шведов, Н.В. Проблемы нормирования долговечности строительных материалов / Н.В. Шведов, В.И. Третьяков // Светопрозрачные конструкции.-2002.-№5-6 (24).- С.3-5.
- Третьяков, В.И. Долговечность уплотнительных прокладок для пластмассовых окон и дверей в условиях климата России / В.И. Третьяков, Г.А. Строкова // Светопрозрачные конструкции. - 1999. - №1-2.-С.68-69.
- Чеботарёв, А.Г. Комплексные испытания моделей фасадных систем при проектировании уникальных высотных зданий / А.Г. Чеботарёв А.Г., Н.А. Фахри // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. - №5.- С. 534-538.
- Шубин, И.Л. Мониторинг светопрозрачных конструкций высотных зданий / И.Л. Шубин, А.А. Верховский // Журнал-каталог профильных систем «PROFILE RUS». – 2017 г.
- Безруков, А.Ю. Техническое регулирование в области фасадных светопрозрачных конструкций / А.Ю. Безруков, А.А. Верховский, В.С. Ройфе // Строительство и реконструкция. - 2016. - №3(65). - С. 96-101.

6. Верховский, А.А. Мониторинг эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций высотных зданий в натурных условиях / А.А. Верховский, В.С. Ройфе, К.С. Крымов, И.М. Нанасов // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. №5.-С.527-529.
7. Верховский А.А. Комплексные исследования светопрозрачных фасадных конструкций // Высотные здания. - 2015. - №1 - С.114-117.
8. Верховский, А.А. Применимость современных светопрозрачных ограждающих конструкций для климатических регионов России / А.А. Верховский, А.Н. Зимин, С.С. Потапов // Жилищное строительство. - 2015. - №.-С. 16-19.
9. Верховский, А.А. Нормативная база и методы испытания фасадных конструкций / А.А. Верховский, Р.В. Брешков, Н.А. Пантиухов // Светопрозрачные конструкции. - 2008. - №5-6. - С.20-22.
10. Шведов Н.В. Нормирование долговечности изделий / Н.В. Шведов, В.И. Третьяков // Строительство и бизнес. - 2002. - №9(25). - С.12-13.

**Богомолова Лариса Константиновна**

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва  
К.х.н., заведующая лабораторией «Стройполимертест»  
E-mail: lb 102@rambler.ru

**Гузова Эмилия Самуиловна**

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва  
К.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории «Стройполимертест»  
E-mail: guzova@bk.ru

**Ильницкий Валерий Дмитриевич**

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва  
младший научный сотрудник лаборатории «Стройполимертест»  
E-mail: eagle\_19@mail.ru

---

L. BOGOMOLOVA, E. GUSOVA, V. ILNITSKY

**ABOUT DURABILITY OF ELEMENTS OF THE TRANSLUCENT PROTECTING DESIGNS FOR MODERN FRONT SYSTEMS UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS**

*The technique of the complex accelerated assessment of durability of elements of the translucent protecting designs (TPD) is offered: sealants, sealing laying, double-glazed windows and aluminum shapes for a structural glazing of modern front systems under the influence of climatic factors. The essence of a method consists in conducting the accelerated laboratory researches by cyclic influences of variable positive and negative temperatures, humidity, ultra-violet radiation, the slaboagressivnykh of chemical environments (solutions) and salt fog (for aluminum shapes). On the basis of basic researches on climatic aging of construction materials two new modes of the complex accelerated tests under the influence of climatic factors of the moderate zone Russian Federation were developed for: sealants, sealing to a prokldo and double-glazed windows (mode 1) and aluminum shapes (mode 2). Requirements to the organization and carrying out the complex accelerated tests, to the test equipment, to the tested samples are considered. Criterion for evaluation of results of tests is decrease in values of the main characteristics of a product after the set number of cycles of tests for each indicator. Characteristic criteria for evaluation of durability of the TPD elements are established*

**Keywords:** sealing laying, sealants, double-glazed windows, aluminum shapes, translucent designs, technique of complex tests, durability, climatic cyclic influences, evaluation criteria, standard.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Shvedov, N.V. Problemy normirovaniya dolgovechnosti stroitel'nykh materialov / N.V. Shvedov, V.I. Tret'yakov // Svetoprotzrachnyye konstruktsii.-2002.-№5-6 (24).- S.3-5.
2. Tret'yakov, V.I. Dolgovechnost' uplotnitel'nykh prokladok. dlya plastmassovykh okon i dverey v uslo-viyakh klimata Rossii / V.I. Tret'yakov, G.A. Stroksa // Svetoprotzrachnyye konstruktsii. - 1999.- №1-2.-S.68-69.
3. Chebotarov, A.G. Kompleksnye ispytaniya modeley fasadnykh sistem pri proektirovaniyu unikal'nykh vysotnykh zdaniy / A.G. Chebotarov A.G., N.A. Fakhri // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. – 2009. - №5.- S. 534-538.
4. Shubin, I.L. Monitoring svetoprotzrachnykh konstruktsiy vysotnykh zdaniy / I.L. Shubin, A.A. Verkhov-skiy // Zhurnal-katalog profil'nykh sistem «PROFILE RUS». – 2017 g.

5. Bezrukov, A.YU. Tekhnicheskoye regulirovaniye v oblasti fasadnykh svetoprotzrachnykh konstruktsiy / A.YU. Bezrukov, A.A. Verkhovskiy, V.S. Royfe // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. - 2016. - №3(65). - S. 96-101.
6. Verkhovskiy, A.A. Monitoring ekspluatatsionnykh kharakteristik ogranzhdayushchikh konstruktsiy vysot-nykh zdaniy v naturnykh usloviyakh / A.A. Verkhovskiy, V.S. Royfe, K.S. Krymov, I.M. Nanasov // Academia. Arkhi-tektura i stroitel'stvo. - 2009.-№5.-S.527-529.
- 7.Verkhovskiy A.A. Kompleksnyye issledovaniya svetoprotzrachnykh fasadnykh konstruktsiy // Vysotnyye zdaniya. - 2015. - №1 - S.114-117.
8. Verkhovskiy, A.A. Primenimost' sovremenныkh svetoprotzrachnykh ogranzhdayushchikh konstruktsiy dlya klimaticeskikh regionov Rossii / A.A. Verkhovskiy, A.N. Zimin, S.S. Potapov // Zhilishchnoye stroitel'stvo. - 2015. - №.-S. 16-19.
9. Verkhovskiy, A.A. Normativnaya baza i metody ispytaniya fasadnykh konstruktsiy / A.A. Verkhovskiy, R.V. Breshkov, N.A. Pantyukhov // Svetoprotzrachnyye konstruktsii. - 2008. - №5-6. - S.20-22.
10. Shvedov N.V. Normirovaniye dolgovechnosti izdeliy / N.V. Shvedov, V.I. Tret'yakov // Stroitel'stvo i biznes. - 2002. - №9(25). - S.12-13.

**L. Bogomolova**

Research Institute of Building Physics RAACS, Moscow  
Ph.D., Head of the laboratory "Stroypolimertest"  
E-mail: lb 102@rambler.ru

**E. Guzova**

Research Institute of Building Physics RAACS, Moscow  
Ph.D., leading researcher of the laboratory "Stroypolimertest"  
E-mail: guzova@bk.ru

**V. Ilnitsky**

Research Institute of Building Physics RAACS, Moscow  
Junior researcher of the laboratory "Stroypolimertest"  
E-mail: eagle\_19@mail.ru

УДК 628.2:004.9; (083)

ФРОГ Д.Б.

## **АНАЛИЗ МЕТОДИК И ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЁТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАРУЖНЫХ БЕЗНАПОРНЫХ СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ ДЛЯ АКТУАЛИЗАЦИИ СП 32.13330.2012**

*Процесс гармонизации международных нормативных документов и принятие в РФ ряда стандартов и других нормативных документов в области водоотведения (канализации) требует пересмотра традиционных подходов в проектировании безнапорных сетей водоотведения. Уровень развития строительных наук и сложность задач, стоящих перед проектными организациями, диктуют переход к компьютеризации процесса проектирования сетей водоотведения. Имеющиеся в распоряжении проектных организаций программные продукты необходимо систематизировать и сравнить для выбора оптимальной программы расчета с учётом результатов современных исследований в данной области. В частности, в статье рассмотрены научные разработки и достижения в вопросе развития методики расчета безнапорных сетей водоотведения. Намечены основные направления модернизации традиционной методики расчета и критерии включения её в свод правил.*

**Ключевые слова:** водоотведение; канализация; проектирование; трубопровод; расчёт; методика; программа; свод правил.

Государственная политика в сфере градорегулирования и формирования комфортной среды проживания направлена на стимулирование развития градостроительной и строительной деятельности, отвечающей современным требованиям архитектурно-пространственной организации, задачам улучшения состояния окружающей среды, мировым экологическим стандартам [5;6]. В РФ в области водоотведения и канализации в настоящее время принят ряд стандартов и других нормативных документов. Принятые правительством решения [7;8] требуют проведения анализа и сравнения существующих в РФ (СНГ) и за рубежом методик расчёта сетей водоотведения для определения преимуществ и недостатков существующих методик, областей их применения. Одновременно должна быть проведена оценка степени обеспечения требований ФЗ № 384[1].

В СП 32.13330.2012 гидравлический расчет канализационных самотечных трубопроводов рекомендуется производить по таблицам, графикам и номограммам, при этом не приводится методика гидравлического расчета безнапорных сетей водоотведения. Очевидно, что данное упущение требует исправления с учётом накопленного опыта (экспериментальных данных и результатов исследований), современных технологий и методов компьютерного проектирования безнапорных сетей водоотведения.

В 2017 г. по техническому заданию ФАУ ФЦС проводится научно-исследовательская работа (НИИСФ РААСН) по систематизации существующих методик расчета наружных сетей водоотведения и выбору оптимальной методики с целью повышения качества проектирования и строительства в данной отрасли [3]. Работа базируется в основном на официальных данных Федерального информационного фонда стандартов и сайтов государственных научно-исследовательских объединений и институтов, являющихся источниками истинных сведений.

Одной из задач исследований является гармонизация методики расчёта сетей водоотведения с международными нормами приоритетных для государства технических документов в сфере проектирования и строительства. В гармонизации стандартов заинтересованы все стороны процесса, т.к. это способствует дальнейшему развитию экономических отношений. Система межгосударственных нормативных документов даёт реальную возможность гармонизировать нормативные документы РФ и других стран СНГ с нормативами и стандартами, используемыми в ведущих странах мира. Наиболее перспективной представляется система нормативов «Еврокод» за счёт заложенных в её основу принципов построения, подходов к совершенствованию, тенденций развития и ареала применения.

Наука и технологии за последние годы значительно преобразились и вышли на новый качественный уровень. Это произошло благодаря широкому внедрению компьютерных технологий. Компьютерное проектирование и дизайн вошли в норму, и используются проектировщиками повсеместно как частными, так и государственными организациями. Активно идёт совершенствование и внедрение в практику программных продуктов для различных расчетов и формирования проектной документации. На основе компьютерной технологии созданы высокопроизводительные программно-методические комплексы САПР [2]. Наиболее продвинуты в части обеспеченности компьютерными расчёты программами направления архитектурного дизайна и проектирование строительных конструкций. Для анализа и оценки принятых в проектах решений, уже сегодня российские органы экспертизы требуют от проектировщиков выполнения определённого набора расчётов, выполненных с применением специализированных программ. В отрасли строительства и реконструкции наружных сетей водоотведения тоже появились современные программные средства, которые получили мощные расчёто-отчётные и графические возможности. Расчёчная схема сети водоотведения, изображаемая с помощью устройств ввода персонального компьютера, становится средством анализа и базой исходных данных [16; 17].

На рынке программного обеспечения постоянно появляются новые технические продукты и, соответственно, новые расчёты методики, предназначенные специально для этих продуктов. Наиболее популярными из них являются: программный комплекс Bentley WaterGEMS (США); комплекс программ ZuluHydro "Политерм" (РФ); программа MIKE URBAN фирмы DHI Water & Environment (Дания); система моделирования наружных сетей канализации VISUAL VECTOR. SEWERAGE ВЕРСИЯ 8.0 (РФ); ИГС "CityCom-ГидроГраф" фирмы ИВЦ "Поток" (РФ); программа расчёта сетей водоотведения ПГУПС (РФ) и другие.

Зарубежные программы расчёта базируются на общепринятых в мировой науке законах гидравлики, однако официальные формулы для расчёта наружных сетей водоотведения в США и Евросоюзе имеют отличия от российских.

Ученые и проектировщики при расчётах безнапорных сетей водоотведения пользуются различными современными программными продуктами, в которых зачастую решаются ограниченные задачи и используются различные расчетные методики. Ключевой задачей и основой в проектировании сетей водоотведения являются гидравлические расчеты, которые позволяют в конечном счёте построить сеть в пространстве относительно поверхности земли. Виртуальная сеть служит источником исчерпывающих данных для составления спецификаций, а также исходной информацией необходимой для разработки проекта строительства (проекта организации строительства) и для составления смет. Результатом работы проектировщика-технолога являются следующие материалы:

- чертёж «план сетей»;
- чертежи профилей участков сети;
- чертежи нестандартных сооружений (камер и колодцев);
- спецификации колодцев, камер, трубопроводов, арматуры и т.п.;
- пояснительная записка по разделу «ТХ».

Для построения сети в пространстве проектировщик определяет диаметры и уклоны каждого участка сети в заданных диапазонах скоростей и наполнений участка трубопровода. При выполнении технологических расчетов проектировщику необходимо, оперируя формулами (Федоров; Шези; Рейнольдс; Альтшуль и т.д.) и уравнением неразрывности потока (зависимость расхода от произведения площади сечения и средней скорости жидкости), выполнить ряд граничных условий:

- проектируемые трубопроводы сети должны в приемлемом диапазоне наполнения пропустить расчётный расход стока;
- скорости потока в трубопроводе также должны быть в определённых границах (от «незаиляющих» скоростей до максимально допустимых);
- учесть суточную неравномерность поступления сточных вод в сеть и спрогнозировать динамику изменения расходов сточных вод в обозримой перспективе;

- полученный результат должен быть наиболее экономичным в заданном диапазоне времени.

Определить насколько экономичен полученный проектировщиком вариант можно только в заключительной фазе проектирования, т.к. на экономику варианта оказывают влияние многие факторы, в их числе: глубина заложения трубопроводов, способ укладки и материал труб, диаметр участков, общая протяженность трубопроводов, наличие повышающих насосных станций и т.п. В связи с этим целесообразно выполнять данные расчёты с использованием ЭВМ.

Гармонизация с европейскими нормами требует адаптации разработанных за пределами РФ стандартов по части территориальных и климатических особенностей. Территория РФ включает множество климатических зон от субтропических до полярных, а значительная часть располагается в зоне вечной мерзлоты. Применение системы «Еврокод» без учёта такого рода специфики может привести к нарушению основополагающих положений [1].

Наряду с этим существуют технологии и ряд направлений науки, в которых учёные и инженеры РФ и СНГ продвинулись несколько дальше своих зарубежных коллег и, в этом случае, международному сообществу следует учитывать и принимать во внимание рекомендации в вопросах нормирования и стандартизации, поступающие от российской стороны. Примером может служить обновлённая в 2015 методика АО «НИИ ВОДГЕО» [25]. В части методического обеспечения расчёта и проектирования сетей водоотведения и канализации советская и позже российская научные школы держали высокий научный и технологический уровень.

«Еврокод» и, в частности стандарт Великобритании BS EN 752:2008, требует (в соответствии с обязательным приложением «Е») применения для гидравлических расчетов трубопроводов самотёчных сетей водоотведения и канализации следующих 2-х уравнений (формул):

1. Колброка-Уайта (или на французском языке - «уравнение Колброка», а в немецкой версии «уравнение Прандтля-Колброка»);

2. Мэнинга (или «уравнение Мэннинга-Стриклера» на французском и немецком языках).

По уравнению Колброка-Уайта для круглой трубы с полным наполнением, скорость потока выражается уравнением:

$$v = -2\sqrt{(2g D Je)} \log_{10} \left( \frac{k}{3,71D} + \frac{2,51 v}{D\sqrt{(2g D Je)}} \right),$$

где  $v$  — скорость в среднем сечении потока, (м/с);

$g$  — гравитационная постоянная 9,81, (м/с<sup>2</sup>);

$D$  — диаметр трубы внутренний, (м);

$Je$  — гидравлический уклон (потери энергии на единицу длины), безразмерный;

$k$  — шероховатость трубопровода, (м);

$v$  — кинематическая вязкость жидкости, (м<sup>2</sup>/с).

Для частично заполненных труб или труб некруглого сечения в данном уравнении заменяют  $D$  на  $4R_h$ , где  $R_h$  — гидравлический радиус.

По уравнению Мэннинга для трубопроводов как круглых, так и не круглых сечений частично или полностью заполненных, скорость потока выражается уравнением:

$$v = KR_h^{2/3} Je^{1/2}$$

где  $K$  — коэффициент Мэннинга, выраженный в (м<sup>1/3</sup>/с);

$R_h$  — гидравлический радиус, выраженные в метрах (м);

$Je$  — гидравлический уклон (потери энергии на единицу длины), безразмерный.

Уравнения Колброка-Уайта и Мэннинга помимо Великобритании, Франции и Германии, используется для гидравлических расчётов во многих странах мира, в частности в США, Австралии, Новой Зеландии, Индии, Пакистане, Ираке, Гонконге и т.д.

Результаты расчётов по формулам Колброка-Уайта и Мэннинга в большинстве случаев не дают расхождения с результатами расчётов трубопроводов по формулам Шези, Рейнольдса, Альтшуля, Конакова, Блазиуса, Фёдорова и Никурадзе, используемым российскими проектировщиками [9-12; 15; 18-24].

Перспективную методику с новым подходом к решению задачи расчёта безнапорных сетей водоотведения предлагает Н. А. Черников [13, 14] Разработанная в ПГУПС под его руководством методика отражает следующие принципы:

1. Адекватный расчет безнапорной сети водоотведения с трубопроводом круглого сечения для различных материалов.
2. Учёт в методике требований действующих нормативов
3. Проектируемая (реконструируемая) сеть водоотведения рассчитывается на работу в наиболее вероятном диапазоне расходов сточных вод, при заданной обеспеченности.
4. Методика с требуемой точностью рассчитывает всю сеть и отдельные участки сети водоотведения.
5. Методика ориентирована на практическое использование в проектных и эксплуатационных организациях.

### **Выводы:**

1. В СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» не приводится методика гидравлического расчета безнапорных сетей водоотведения, а гидравлический расчет канализационных самотечных трубопроводов рекомендуется производить по таблицам, графикам и номограммам;
2. Гармонизация с европейскими нормами требует адаптации разработанных за пределами РФ стандартов по части территориальных и климатических особенностей;
3. Алгоритм расчёта и выбор экономичного и ресурсо-энергосберегающего проектного решения требует обязательного применения ЭВМ;
4. Имеющиеся в арсенале проектировщиков специализированные программы расчёта сетей водоотведения требуют систематизации и анализа;
5. Требуется создать новую методику расчёта безнапорных сетей водоотведения, основанную на новейших достижениях науки.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
2. Постановление межведомственного совета по вопросам архитектуры, строительства и ЖКХ от 20 мая 1998 г. N 1 «О приоритетных направлениях научно-технического прогресса и внедрении новых эффективных технологий, материалов и конструкций в строительном комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве РФ».
3. Протокол совещания у Заместителя Председателя Правительства РФ Д.Н. Козака от 30 декабря 2016 г. № ДК-П9-278/пр «О совершенствовании нормативного правового регулирования действующего порядка подключения объектов капитального строительства к сетям тепло-, газо-, электро-, водоснабжения и водоотведения».
4. СП 32.13330.2012 "СНиП 2.04.03-85 "Канализация. Наружные сети и сооружения".
5. Указ Президента РФ от 7 мая 2012 г. N 600 "О мерах по обеспечению граждан Российской Федерации доступным и комфортным жильем и повышению качества жилищно-коммунальных услуг".
6. Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 17.11.2008 года N 1662-р.
7. Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ, (статья 29).
8. Межгосударственный классификатор стандартов (с изменениями N 1-5), ОК от 11 апреля 1996 года №001-96.
9. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, В.И. Калищун. - М.: Стройиздат, 1996. 591 с.
10. Курганов А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. - Л.: Стройиздат, 1986. - 440 с.
11. Лукиных А.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. Изд. 4е, доп. / А.А. Лукиных, Н.А. Лукиных. – М.: Стройиздат, 1974;
12. Прозоров, И.В. Гидравлика, водоснабжение и канализация городов / И.В. Прозоров, Г.И. Николадзе, А.В. Микаев. – М.: Высшая школа, 1975. - 411 с.
13. Черников, Н.А. Сравнение методов гидравлического расчета бытовых сетей водоотведения / Н.А. Черников, Т. Башару // 54-ая научно-техническая конференция с участием студентов, молодых специалистов и ученых. Программа и Тезисы докладов ПГУПС. - Санкт-Петербург, 1994.

14. Черников, Н.А. Существующие тенденции в проведении гидравлических расчётов самотёчных сетей водоотведения / Н.А. Черников, К.М. Дюба // Державна науково-технічна бібліотека України (ДНТБ) Тематична виставка "Водні ресурси". - 2015.
15. Кондратьев, А.С. Обобщение формулы Колброка-Уайта на течения жидкости в трубе с произвольной песочной шероховатостью стенки / А.С. Кондратьев, Т.Л. Нья, П.П. Швыдько // Фундаментальные исследования. – 2017. - №1. – С. 74-78.
16. Ексаев, А.Р. Гидравлические расчёты инженерных сетей как объектов геоинформационных систем / А.Р. Ексаев, В.А. Вайсфельд. – М.:ИВЦ “Поток”, 2007.
17. Сборник статей и публикаций московского водоканала. – М.: МГУП Мосводоканал, 2008. - 462 с.
18. Абрамович, И.А. Математическая модель сети водоотведения -объект исследования. // Экономичные системы водоснабжения и канализации. -М.: ЦНИИЭП инженерного оборудования, 1984.
19. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления. - М.: Недра, 1970. - 216 с.
20. Аптекарев, И.А. К вопросу определения расчетных расходов в хозяйственной фекальной канализационной сети // Известия и архитектура. – 1962. – № 1.
21. Чупин В.Р. Развитие методики гидравлических расчетов систем водоотведения / В.Р. Чупин, Е.С. Мелехов, Р.В. Чупин // Вода и экология: Проблемы и решения. – 2010. - №1, 2. - С. 48-58.
22. Отставнов, А.А. Применение формулы (14) СНИП 2.04.03-85 для гидравлических расчетов канализационных трубопроводов из полимерных труб» / А.А. Отставнов, В.А. Устюгов и др. // Сантехника. – 2008. – № 2.
23. Методическое пособие «Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты» АО «НИИ ВОДГЕО», 2015.

**Фрог Дмитрий Борисович**

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва

Кандидат технических наук, гл. научный сотрудник лаб. № 35

E-mail: dbf135@yandex.ru

### D. FROG

## ANALYSIS OF METHODS AND PROGRAMS FOR CALCULATION AND DESIGN OF EXTERNAL NON-PRESSURIZED SEWAGE FOR ACTUALIZATION OF SP 32.13330.2012

*The process of harmonization of international regulations and the adoption in Russia of a series of standards and other normative documents in the area of wastewater (sewerage) requires rethinking traditional approaches in designing non-pressure drainage pipelines. The level of development of construction Sciences and complexity of the challenges facing design organizations, dictate the move to computerize the process of designing pipelines. Available design products should be systematized and compare for selecting optimal program to calculate with taking into account the results of current research in this field. In particular, the article discusses scientific developments and achievements in the development of methodology for non-pressure drainage pipelines. Identify the main directions of modernization of traditional methods of calculation and the criteria for inclusion in the normative document.*

**Keywords:** wastewater; sewerage; designing; pipeline; calculation; the technique; the program.

### BIBLIOGRAPHY

1. Federal'nyy zakon ot 30 dekabrya 2009 g. № 384-FZ «Tehnicheskiy reglament o bezopasnosti zda-niy i sooruzheniy».
2. Postanovleniye mezhvedomstvennogo soveta po voprosam arkhitektury, stroitel'stva i ZHKKH ot 20 maja 1998 g. N 1 «O prioritetnykh napravleniyakh nauchno-tehnicheskogo progressa i vnedrenii novykh effektivnykh tekhnologiy, materialov i konstruktsiy v stroitel'nom komplekse i zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve RF.
3. Protokol soveshchaniya u Zamestitelya Predsedatelya Pravitel'stva RF D.N. Kozaka ot 30 dekabrya 2016 g. № DK-P9-278/pr «O sovershenstvovanii normativnogo pravovogo regulirovaniya deystvuyushchego porjadka podklyucheniya ob'yektor kapital'nogo stroitel'stva k setyam teplo-, gazo-, elektro-, vodosnabzheniya i vodoootve-deniya».
4. SP 32.13330.2012 "SNiP 2.04.03-85 "Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya".
5. Ukaz Prezidenta RF ot 7 maja 2012 g. N 600 "O merakh po obespecheniyu grazhdan Rossiyskoy Federa-tsii dostupnym i komfortnym zhil'yem i povysheniyu kachestva zhilishchno-kommunal'nykh uslug".
6. Kontseptsiya dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomiceskogo razvitiya RF na period do 2020 goda, utver-zhdennoy rasporyazheniyem Pravitel'stva RF ot 17.11.2008 goda N 1662-r.
7. Federal'nyy zakon «O standartizatsii v Rossiyskoy Federatsii» ot 29 iyunya 2015 goda № 162-FZ, (stat'ya 29).
8. Mezhgosudarstvennyy klassifikator standartov (s izmeneniyami N 1-5), OK ot 11 aprelya 1996 goda №001-96.

9. Yakovlev, C.B. Vodootvedeniye i ochistka stochnykh vod: Uchebnik dlya vuzov / C.B. Yakovlev, YA.A. Kareljin, YU.M. Laskov, V.I. Kalitsun. - M.: Stroyizdat, 1996. 591 s.
10. Kurganov A.M. Gidravlicheskiye raschety sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya: Spravochnik / A.M. Kurganov, N.F. Fedorov. - L.: Stroyizdat, 1986. - 440 s.
11. Lukinykh A.A. Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta kanalizatsionnykh setey i dyukerov po formu-le akad. H.H. Pavlovskogo. Izd. 4e, dop. / A.A. Lukinykh, N.A. Lukinykh. – M.: Stroyizdat, 1974
12. Prozorov, I.V. Gidravlika, vodosnabzheniya i kanalizatsiya gorodov / I.V. Prozorov, G.I. Nikoladze, A.V. Mikayev. – M.: Vysshaya shkola, 1975. - 411 s.
13. Chernikov, H.A. Sravneniye metodov gidravlicheskogo rascheta bytovykh setey vodootvedeniya / N.A. Chernikov, T. Basharu // 54-aya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya s uchastiyem studentov, molodykh spetsialistov i uchenykh. Programma i Tezisy dokladov PGUPS. - Sankt-Peterburg, 1994.
14. Chernikov, H.A. Sushchestvuyushchiye tendentsii v provedenii gidravlicheskikh raschotov samotochnykh setey vodootvedeniya / N.A. Chernikov, K.M. Dyuba // Derzhavna naukovo-tehnichna biblioteka Ukrainsi (DNTB) Tematichna vistavka "Vodni resursi". - 2015.
15. Kondrat'yev, A.S. Obobshcheniye formuly Kolbruka-Uayta na techeniya zhidkosti v trube s proizvol'-nov pesochnoy sherokhovatost'yu stenki / A.S. Kondrat'yev, T.L. N'a, P.P. Shvyd'ko // Fundamental'nyye issledo-vaniya. – 2017. - №1. – S. 74-78.
16. Yeksayev, A.R. Gidravlicheskiye raschoty inzhenernykh setey kak ob"yektor geoinformatsionnykh sistem / A.R. Yeksayev, V.A. Vaysfel'd. – M.: IVTS "Potok", 2007.
17. Sbornik statey i publikatsiy moskovskogo vodokanal. – M.: MGUP Mosvodokanal, 2008. - 462 s.
18. Abramovich, I.A. Matematicheskaya model' seti vodootvedeniya -ob"yekt issledovaniya. // Ekonomich-nyye sistemy vodosnabzheniya i kanalizatsii. -M.: TSNIEP inzhernogo oborudovaniya, 1984.
19. Al'tshul', A.D. Gidravlicheskiye soprotivleniya. - M.: Nedra, 1970. - 216 s.
20. Aptekarev, I.A. K voprosu opredeleniya raschetnykh raskhodov v khozyaystvennoy fekal'noy kanaliza-tsionnoy seti // Izvestiya i arkhitektura. – 1962. – № 1.
21. Chupin V.R. Razvitiye metodiki gidravlicheskikh raschetov sistem vodootvedeniya / V.R. Chupin, Ye.S. Melikhov, R.V. Chupin // Voda i ekologiya: Problemy i resheniya. – 2010. - №1, 2. - S. 48-58.
22. Otstavnov, A.A. Primereniye formuly (14) SNIP 2.04.03-85 dlya gidravlicheskikh raschetov kanalizatsionnykh truboprovodov iz polimernykh trub» / A.A. Otstavnov, V.A. Ustyugov i dr. // Santekhnika. – 2008. – № 2.
23. Metodicheskoye posobiye «Rekomendatsii po raschotu sistem sбora, otvedeniya i ochistki poverkhnost-nogo stoka s selitebnykh territoriy, ploshchadok predpriyatiy i opredeleniyu usloviy vypuska yego v vodnyye ob"-yekty» AO «NII VODGEO», 2015.

### D. Frog

Research Institute of Building Physics RAACS, Moscow  
Candidate of Technical Sciences, senior scientific officer of the laboratory 35  
E-mail: dbf135@yandex.ru

**Уважаемые авторы!**  
**Просим Вас ознакомиться с основными требованиями**  
**к оформлению научных статей**

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует присыпать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**В тексте статьи** не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

**Обязательные элементы:**

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый объем – не менее 100 слов;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

**С полной версией требований к оформлению научных статей**  
**Вы можете ознакомиться на сайте [www.gu-uprk.ru](http://www.gu-uprk.ru)**

---

*Учредитель журнала*  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
(ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»)

*Адрес учредителя журнала*  
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская д. 95

*Контактные данные учредителя*  
+7 (4862) 777-318  
[www.oreluniver.ru](http://www.oreluniver.ru)  
E-mail: [rector@oreluniver.ru](mailto:rector@oreluniver.ru)

*Адрес редакции*  
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.

*Контактные данные редакции*  
+7 (4862) 73-43-49  
[www.build.oreluniver.ru](http://www.build.oreluniver.ru)  
E-mail: [str\\_and\\_rek@mail.ru](mailto:str_and_rek@mail.ru)

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.Ю. Савин  
Компьютерная верстка С.Ю. Савин

Подписано в печать 23.05.2017 г.  
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 8.  
Тираж 400 экз.  
Заказ №\_\_\_\_\_

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической  
базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.