

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научно-технический и производственный журнал

www.rifsm.ru

Издается с 1958 г.



**К проведению IV Академических чтений,
посвященных памяти академика РААСН Г.Л. Осипова
“АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ:
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, НАДЕЖНОСТЬ,
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ”**





ЕДИНСТВЕННАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА НАПОЛЬНЫХ
ПОКРЫТИЙ

Развивайтесь с комфортом!

DOMOTEX
Russia

Moscow · 26–28 Sept. 2012

Deutsche Messe
Worldwide
ООО Дойче Мессе РУС

domotex-russia.com

11^я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА HI-TECH BUILDING 2012

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗДАНИЙ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

30 ОКТЯБРЯ – 1 НОЯБРЯ
ЭКСПОЦЕНТР, ПАВИЛЬОНЫ №1, 5

- > АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗДАНИЙ
- > СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ
- > СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫЙ ДОМ»
- > УПРАВЛЕНИЕ КЛИМАТОМ
- > ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
- > ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ GREEN BUILDING PASSIVE HOUSE
- > УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ
- > ИТ СИСТЕМЫ

www.hitechbuilding.ru



Организатор:

MIDexpo
МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВЫСТАВКИ И ЯРМАРКИ

При поддержке:

KNX

BIG-RU
BASnet Interest Group

LonMark
Rus

САВА

ИПД
Институт пассивного дома

СЭУС
ASSOCIATION
RUSSIA

АСП

Учредитель журнала
ЦНИИЭП жилища

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

Главный редактор
Юмашева Е.И.

Редакционный совет:
Николаев С.В.
(председатель)

Баринова Л.С.
Гагарин В.Г.
Заиграев А.С.
Звездов А.И.
Ильичев В.А.
Колчунов В.И.
Маркелов В.С.
Франивский А.А.

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

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

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

Редакция не несет
ответственности
за содержание рекламы
и объявлений

Адрес редакции:

Россия, 127434, Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

Тел./факс: (499) 976-22-08
(499) 976-20-36

E-mail: mail@rifsm.ru
gs-mag@mail.ru

http://www.rifsm.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Доклады IV Академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики»

- С.И. КРЫШОВ, И.С. КУРИЛЮК, О.Д. САМАРИН
**Экспериментальное исследование температуры
на внутренней поверхности оконных откосов** 3
- А.Ю. ОКУНЕВ, Е.В. ЛЕВИН, К.С. ШАГИНЯН
**Современные подходы к тепловизионному обследованию
строительных объектов** 7
- Д.В. КРАЙНОВ, Р.А. САДЫКОВ
**Определение дополнительных потоков теплоты
через элементы фрагмента ограждающей конструкции** 10
- О.Д. САМАРИН
**Предложения по совершенствованию
актуализированной редакции СНиП 23-02** 13
- К.С. ШАГИНЯН
Об энергопотреблении зданий 16
- С.В. КОРНИЕНКО
**Оценка энергоэффективности жилого здания
по результатам энергоаудита** 19
- О.Д. САМАРИН, Е.А. ГРИШНЕВА
**Технико-экономическая оценка системы управления
интеллектуальным зданием** 23
- Н.П. УМНЯКОВА
**Прообразы конструкций вентилируемых фасадов
в зданиях Древней Руси** 25
- В.Н. КУПРИЯНОВ, И.Ш. САФИН, М.Р. ШАМСУТДИНОВ
Влияние конструкции ограждения на конденсацию парообразной влаги 29
- Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА, М.М. ЕЛЬЧИЩЕВ
**Влияние режима заморозков на долговечность наружных
ограждающих конструкций в Центрально-Черноземном регионе** 32
- В.Н. КУПРИЯНОВ, А.И. ИВАНЦОВ
**Обеспечение долговечности ограждающих конструкций
на стадии их проектирования** 35
- М.В. БУТОРИНА, Д.А. КУКЛИН
Оценка уровней шума потоков железнодорожного транспорта 37
- И.Е. ЦУКЕРНИКОВ, И.Л. ШУБИН, Т.О. НЕВЕНЧАННАЯ
Оценка снижения уровня звука шумозащитным экраном 40
- О.В. СТАРЦЕВА, С.Н. ОВСЯННИКОВ
Исследование звукоизоляции однослойных и двухслойных перегородок 43
- Н.Н. МИНИНА, Н.И. ИВАНОВ, В.А. КОРНИЛОВ
Расчет акустической эффективности искусственных сооружений 47

П.А. ГРЕБНЕВ, Д.В. МОНИЧ Исследование звукоизолирующих свойств многослойных ограждений с жестким наполнителем	50
В.П. ГУСЕВ, О.А. ЖОГОЛЕВА, В.И. ЛЕДЕНЕВ, Е.О. СОЛОМАТИН Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования	52
М.С. ОВСЯННИКОВ Построение карт шумового загрязнения методом итеративной трассировки источников	55
А.И. АНТОНОВ, А.В. БАЦУНОВА, С.И. КРЫШОВ Метод оценки шумовых полей помещений при проектировании шумозащиты в гражданских зданиях с непостоянными во времени источниками шума	58
А.А. ВЕРХОВСКИЙ, И.И. НАНАСОВ, Е.В. ЕЛИЗАРОВА, Д.И. ГАЛЬЦЕВ, В.В. ЩЕРЕДИН Энергоэффективность светопрозрачных ограждающих конструкций	60
В.Н. КУПРИЯНОВ, Ф.Р. ХАЛИКОВА Пропускание ультрафиолетовой радиации оконными стеклами при различных углах падения луча	64
Е.Г. МАЛЯВИНА, Д.Ю. ПЕТРОВ Сопряженный расчет нестационарного теплового режима водяной системы отопления и здания	66
П.В. ФЕДЯЕВА, Е.В. ЧУЛКОВА, С.Г. ШЕИНА Исследование эффективности выполнения энергосберегающих мероприятий в жилых зданиях различной этажности	70
Е.Г. МАЛЯВИНА, О.Ю. КРЮЧКОВА Разработка инженерного метода определения энергетических показателей систем кондиционирования воздуха	73
В.А. СМИРНОВ Методы размещения высокоточного оборудования в существующих зданиях	76
Н.В. БАКАЕВА, И.В. ШИШКИНА, Д.В. МАТЮШИН Модель экологически безопасной автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства и методика интегральной оценки ее состояния	78
<i>Экологическое строительство</i>	
Л.А. ГУЛАБЯНЦ Противорадоновая защита жилых и общественных зданий (Пособие по проектированию, проект). Часть IV	82
А.Л. БОЛЬШЕРОТОВ Взаимосвязь развития строительства и экологических проблем	86

**ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
журнала «Жилищное строительство»**



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

УДК 347.265.5

*С.И. КРЫШОВ, канд. техн. наук, И.С. КУРИЛЮК, инженер, НИИСФ РААСН (Москва);
О.Д. САМАРИН, канд. техн. наук,
Московский государственный строительный университет*

Экспериментальное исследование температуры на внутренней поверхности ОКОННЫХ ОТКОСОВ

В статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований температуры на внутренней поверхности оконных откосов в холодный период года в общественном здании. Проведен анализ полученных данных и их статистическая обработка, позволившая подтвердить теоретические зависимости для температуры откоса.

Ключевые слова: оконный откос, температура, измерения, корреляция, погрешность.

В период с 11 по 15 февраля 2010 г. проведены натурные исследования теплозащитных свойств стеновых ограждающих конструкций двух типовых зданий прогимназии, расположенных на юго-востоке Москвы. Целью исследования являлась оценка теплозащитных свойств наружных стен с учетом влияния теплотехнических неоднородностей, таких как оконные откосы, стыки панелей и т. д. При этом проводились определения температур на внутренней поверхности стен в зонах влияния теплотехнических неоднородностей для уточнения их влияния на теплозащитные свойства стен. Такая задача в настоящее время является актуальной в связи с пересмотром действующих нормативных документов в области теплозащиты зданий [1]. Одновременно представлялось целесообразным подтверждение имеющихся аналитических зависимостей, описывающих теплопотери через теплотехнические неоднородности ограждений и температуры на внутренней поверхности [2] для возможности их дальнейшего использования в инженерной практике.

Настоящая статья посвящена описанию экспериментального исследования температурного режима оконного откоса и сопоставления результатов с недавно предложенной аналитической зависимостью, описывающей распределение температуры по оконному откосу.

Методика проведения измерений соответствовала ГОСТ 26254 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций». Для получения наиболее достоверных результатов данные параметры следует определять в условиях, близких к стационарным. С этой целью на фрагментах изучаемых наружных ограждений устанавливались датчики температуры и теплового потока, показания которых записывались в автоматическом режиме. При этом выбор периода измерений осуществлялся в соответствии с условиями проведения исследований с учетом показателей погоды за предшествующие 3–5 сут. При небольших суточных колебаниях температуры наружного воздуха t_n возможно получить процесс теплопередачи, близкий к стационарному, что позволяет по

результатам замеров оценить теплофизические свойства ограждений.

В процессе исследования в качестве средств измерений использовались тепловизионные камеры NEC TN 9100 и NEC San-ei (Япония), электронные измерители плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.03 «Поток» (завод «Стройприбор», Россия), комплект датчиков температуры «Термохрон» и комплект датчиков температуры и влажности «Гигрохрон» (США), а также анемометр цифровой testo 405-V1 (Германия). Относительная погрешность измерений данных приборов находится в пределах ± 5 –7%.

Измерения проводились в трех тестовых помещениях: спортивном зале (игровой); лечебном изоляторе на первом



Рис. 1. Расположение датчиков температуры в помещении № 1

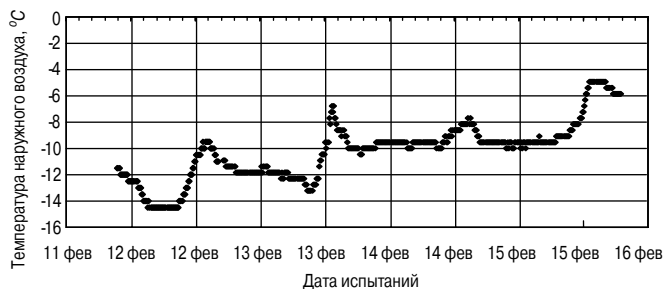


Рис. 2. Изменение температуры наружного воздуха вблизи помещения № 1 в период измерений

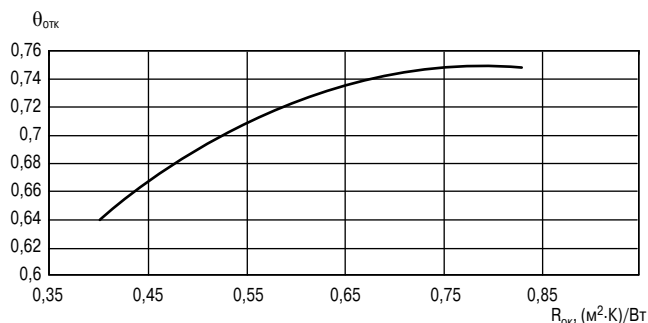


Рис. 3. Зависимость безразмерной температуры откоса $\theta_{отк}$ от $R_{ок}$ по данным [2]

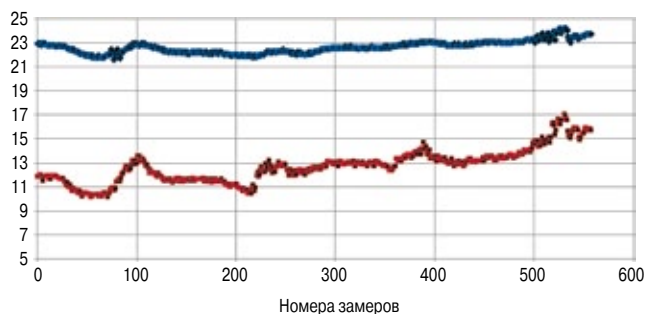


Рис. 4. Изменение температуры t_n (верхняя линия) и $\tau_{отк}$ (нижняя линия) в месте установки датчика 2 в период с 11 по 15 февраля 2010 г. по экспериментальным данным

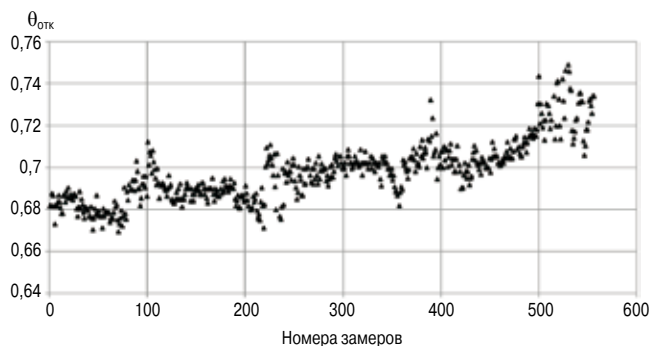


Рис. 5. Значения $\theta_{отк}$, рассчитанные по экспериментальным данным

$\lambda_{ти}$, Вт/(м·К)	$\theta_{отк}$
0,052	0,57
0,07	0,569
0,09	0,568
0,022	0,565
0,4	0,56

этаже; помещении № 1 детского сада. Оконные откосы исследовались в помещении № 1. Схема расположения датчиков температуры приведена на рис. 1. Для анализа результатов измерений использовались показания датчиков № 1 (среднее значение по глади наружной стены) и № 2 (откос).

На рис. 2 приведены данные по изменению значений наружной температуры в период с 11 по 15 февраля 2010 г. Показания приборов записывались через каждые 10 минут. Всего сделано 550 замеров. Отклонение t_n , как правило, не превышало 2–3 °C в обе стороны от среднего уровня, что и позволило считать теплопередачу стационарной без значительной погрешности.

Результаты исследования. Рассмотрим экспериментальное подтверждение аналитической зависимости от сопротивления окна теплопередаче $R_{ок}$, м²·К/Вт, для безразмерной температуры на внутренней поверхности оконного откоса $\theta_{отк}$:

$$\theta_{отк} = (\tau_{отк} - t_n) / (t_b - t_n), \quad (1)$$

где t_b — температура внутреннего воздуха; $\theta_{отк}$ — температура на поверхности откоса у узла примыкания заполнения светопроема (точка 2 на рис. 1) непосредственно по результатам замеров, °C.

Безразмерный вид зависимости для $\theta_{отк}$ позволяет сравнивать между собой конструкции и выявлять влияние различных факторов на теплопотери через откос. Одна из зависимостей для $\theta_{отк}$ от $R_{ок}$ была получена в [2] с помощью численного решения дифференциального уравнения теплопроводности. Графически эта зависимость представлена на рис. 3. В качестве аргумента используется $R_{ок}$ — приведенное сопротивление теплопередаче окна, м²·К/Вт. В то же время от теплотехнических характеристик материалов стены значение $\theta_{отк}$ практически не зависит (см. таблицу, составленную по результатам одного из вариантов численного расчета).

Анализ результатов измерений. Используя приведенное выше соотношение для безразмерной температуры $\theta_{отк} = (\tau_{отк} - t_n) / (t_b - t_n)$, можно вычислить экспериментальные значения $\theta_{отк}$, показанные на рис. 5.

Статистическая обработка данных, представленных на рис. 4, дает для рассматриваемой конструкции среднее значение $\theta_{отк}$, равное 0,697, при среднеквадратичном отклонении $\pm 0,014$, или в относительном выражении $\pm 2\%$. Это значительно меньше погрешности используемых измерительных приборов. Для сопоставления полученного значения $\theta_{отк}$ с соответствующим значением, взятым из теоретической зависимости, изображенной на рис. 2, следует учесть конструкцию применяемых заполнений светопроемов, которая в данном случае представляет собой двойное остекление в деревянных отдельных переплетах. В соответствии с СП 23-101-2004 сопротивление теплопередаче такой конструкции окна составляет $R_{ок} = 0,44$ м²·К/Вт. Данному значению $R_{ок}$ соответствует по рис. 3 значение $\theta_{отк} = 0,66$. Таким образом, расхождение экспериментального и теоретического уровней $\theta_{отк}$ оказывается равным 5,3%, что соответствует заявленной инструментальной погрешности и, следовательно, не может быть признано существенным.

Дополнительно на рис. 6 представлено поле корреляции экспериментальных значений $\theta_{отк}$ и соответствующих им температур t_n .

Заметим, что методика и результаты теоретического исследования, приведенные в [2] и представленные на рис. 3,

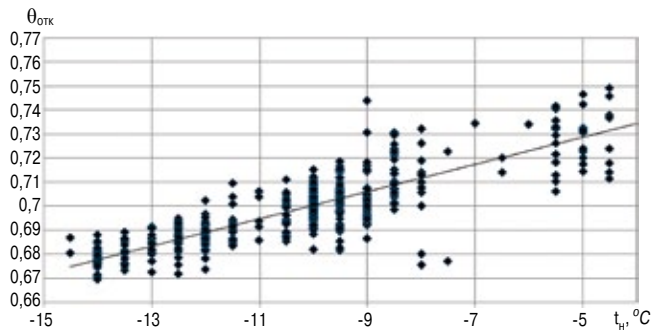


Рис. 6. Корреляционная зависимость экспериментального уровня $\theta_{отк}$ от t_n

позволяют предположить отсутствие влияния t_n на $\theta_{отк}$, поскольку температурное поле откоса рассчитывалось в безразмерном виде, и относительная наружная температура принималась всегда равной нулю.

Тем не менее, как показывает расположение точек на рис. 6, некоторая корреляция между $\theta_{отк}$ и t_n все же имеется, причем коэффициент корреляции достаточно высокий: $r=0,84$. Однако сама зависимость довольно слабая, и во всем рассматриваемом диапазоне t_n отклонение $\theta_{отк}$ от среднего уровня, измеряемое вдоль линии тренда, составляет примерно $\pm 0,025$, или в относительном выражении около 3,6%, что опять-таки не превышает заявленной инструментальной погрешности. Поэтому считать эту зависимость статистически значимой не следует.

Рассмотрим теперь экспериментальное подтверждение аналитической зависимости для фактора формы оконного откоса $f_{отк}$. По определению он равен отношению фактических теплотерь через двумерный элемент к теплотерям через такой же по площади участок наружной стены с одномерным температурным полем [3]. В качестве границы двумерного элемента здесь принимают расстояние в два калибра, причем один калибр (\varnothing) равен произведению теплопроводности слоя утеплителя λ_t на приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены R_o , $m^2 \cdot K/Vt$. Фактор формы может быть использован для расчета величины R_o через $R_{o,усл}$ – условное сопротивление стены теплопередаче по ее глади вдали от откосов и теплопроводных включений. Одна из зависимостей для $f_{отк}$ была получена также в [2] с помощью численного решения дифференциального уравнения теплопроводности методом конечных разностей. Графически эта зависимость представлена на рис. 7.

В качестве основного параметра используется безразмерное отношение R_o/R_b , где R_b – сопротивление теплообмену на внутренней поверхности стены, $m^2 \cdot K/Vt$.

Исходя из определения $f_{отк}$ его фактический уровень можно вычислить по формуле:

$$f_{отк} = \frac{q_{отк}}{q_{гл}} - 1, \quad (2)$$

где $q_{гл}$ – плотность теплового потока q , $Вт/м^2$, для глади наружной стены вдали от откоса; $q_{отк}$ – то же в среднем по откосу в пределах двух калибров от строительного проема. В экспериментах, однако, измерялась не средняя величина $q_{отк}$, а максимальная q_{max} – непосредственно у узла примыкания заполнения светопроема (точка 2 на рис. 1). Но на основании анализа температурного поля откоса, полученного в [2] и показанного на рис. 8, следует, что $q_{отк} = (3q_{гл} + q_{max})/4$.

Статистическая обработка данных, представленных на рис. 9, дает для рассматриваемой конструкции сред-

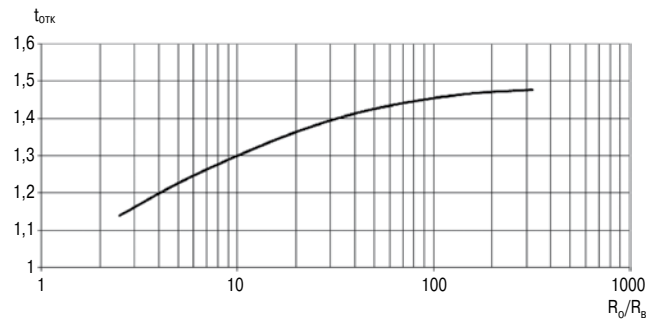


Рис. 7. Зависимость фактора формы оконного откоса $f_{отк}$ от отношения R_o/R_b

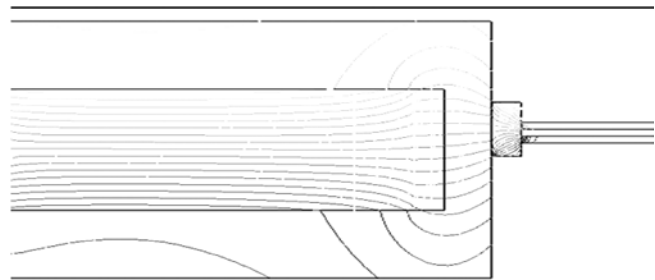


Рис. 8. Температурное поле оконного откоса (заглубление переплета 0,2 м)

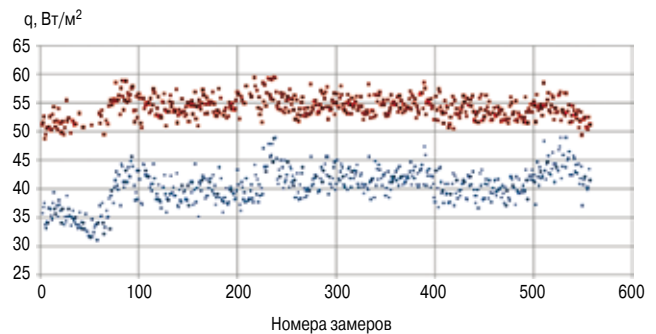


Рис. 9. Экспериментальные значения $q_{отк}$ (верхние точки) и $q_{за}$ (нижние), $Вт/м^2$, для помещения в модуле АВ в период с 11 по 15 февраля 2010 г.



Рис. 10. Экспериментальные значения $f_{отк}$, определенные по формуле (1)

нее значение $f_{отк}$ 1,329 при среднеквадратичном отклонении $\pm 0,103$, или в относительном выражении $\pm 7,75\%$. Это сопоставимо с погрешностью используемых измерительных приборов. Для сопоставления с теоретической зависимостью, изображенной на рис. 7, следует вычислить фактическое отношение R_o/R_b . Для наружной стены значение R_o , вычисленное с использованием экспериментальных t_b , t_n

и q по формуле $K_o = \frac{t_B - t_H}{q}$, оказывается равным $0,86 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$,

а в соответствии с [5] $R_B = 1/\alpha_B = 1/8,7 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, откуда $R_o/R_B = 0,86/0,115 = 7,47$, что дает по рис. 7 $f_{\text{отк}} = 1,28$. Таким образом, расхождение экспериментального и теоретического уровней $f_{\text{отк}}$ оказывается равным примерно 3,8%, что даже меньше заявленной инструментальной погрешности и, следовательно, не может быть признано существенным.

Выводы. Таким образом, полученные в [2] теоретические результаты для $\theta_{\text{отк}}$ и $f_{\text{отк}}$ удачно подтверждаются данными измерений и могут быть рекомендованы для применения в инженерной практике с целью оценки теплозащитных свойств ограждающих конструкций. В дальнейшем возможно использование рассмотренных экспериментальных и теоретических данных для установления связи этих зависимостей с приведенными в [4] методами оценки влияния теплопроводных включений на теплопередачу сложных

ограждений, в частности для расчета дополнительных теплопотерь через оконные откосы.

Список литературы

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 2–6.
2. Самарин О.Д. Определение теплопотерь откосов оконных проемов // Энергосбережение и водоподготовка. 2003. № 2. С. 71–74.
3. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. 3-е изд. СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2006. 400 с.
4. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4–12.

«Многофункциональный Коммерческий Комплекс «Новый Арбат, 32»

Идея проекта по строительству многофункционального коммерческого комплекса «Новый Арбат, 32» была сформулирована в 2003 г. В историческом месте Москвы, на участке площадью 1,171 га было предложено построить объект, по сути являющийся самодостаточным многофункциональным комплексом с системой полного жизнеобеспечения. Внутри здания было решено разместить практически все необходимые современному деловому человеку сервисы и службы: от пятизвездочного отеля, апартаментов, фитнес-клуба и ресторанов до офисов, магазинов и многоуровневой парковки. В здании комплекса разместится пятизвездочный отель и блок частных апартаментов. Такой формат жилой недвижимости, как частные апартаменты с гостиничным сервисом уже давно и прочно завоевали популярность во всем мире: это удобно, престижно и выгодно. Однако в нашей стране такое предложение появляется на рынке впервые.

Блок из 153 апартаментов свободной планировки площадью от 45 до 297 м², имеющих три независимые входные группы, а также прямое сообщение с холлом гостиницы, благодаря которому будет обеспечиваться доступ владельцев апартаментов к инфраструктуре гостиницы. Планировкой предусмотрены в основном апартаменты-студии и с одной-двумя спальнями средней площадью 115 м². Также апартаменты будут иметь собственный отдельный вход и лифтовое сообщение с подземной стоянкой.

Высотность «Нового Арбата, 32» будет колебаться от 8 до 13 этажей, максимальная отметка – 47,15 м. Общая площадь комплекса составит 114,8 тыс. м², из них 64,5 м² занимает надземная часть, 50,3 м² – подземная.

Более 86 тыс. м² придется непосредственно на долю многофункционального коммерческого комплекса;



28,7 тыс. м² займет Российский научный центр восстановительной медицины и курортологии; 20,7 тыс. м² – пятизвездочный отель. На площади 24,1 тыс. м² разместятся 153 частных апартаментов. Коммерческие помещения с отдельным входом, располагающиеся на первом и втором этажах здания, займут 3,1 тыс. м².

В отеле будет предусмотрено 234 номера, ресторан, тематический fashion-бар, с возможностью обслуживания посетителей с улицы, конференц-зал, а также множество различных салонов. Проектом комплекса также предусмотрены два офисных помещения площадью по 160 м² с отдельным входом на первом этаже и двухэтажный офисный центр площадью 2,8 тыс. м², а также несколько помещений под магазины.

Под комплексом разместится четырехуровневая подземная парковка манежного типа на 595 машиномест. Здание будет обеспечено системами центрального кондиционирования, центральной очистки воды, оптоволоконной связи и бесперебойного энергоснабжения.

УДК 624:697.133

*А.Ю. ОКУНЕВ, канд. физ.-мат. наук (okunevay@gmail.com),
Е.В. ЛЕВИН, канд. физ.-мат. наук (evlev@list.ru), К.С. ШАГИНЯН, инженер,
НИИСФ РААСН (Москва)*

Современные подходы к тепловизионному обследованию строительных объектов

Приведены основные особенности тепловизионных обследований строительных объектов. Рассмотрены вопросы повышения точности тепловизионных измерений с использованием математической обработки термограмм на основе аппроксимационных приближений точного решения уравнения теплового баланса.

Ключевые слова: тепловизионный контроль, точность измерения температуры, радиационная температура, коэффициент излучения, калибровка.

В настоящее время во всем мире основными задачами, определяющими текущее состояние и перспективы экономического развития, является повышение энергетической эффективности и энергосбережение. Постепенный переход на возобновляемые и альтернативные источники энергии, способные в некоторой степени заменить сравнительно дешевые ископаемые, вовсе не снижает приоритетов решения поставленных задач. Альтернативные и возобновляемые источники энергии пока являются сравнительно дорогими, и их использование в основном направлено на решение экологических проблем и в отдельных случаях на обеспечение энергетической независимости. В Российской Федерации вопросы энергосбережения и энергетической эффективности на глобальном уровне регулируются специальным разработанным Федеральным законом № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

В структуре энергопотребления практически всех развитых стран, как это ни удивительно, значительная часть производимых топливно-энергетических ресурсов идет на обеспечение тепловых режимов в зданиях и сооружениях. Например, на территории РФ, по некоторым оценкам, на выработку тепловой энергии, идущей на отопление зданий и сооружений, расходуется около 30% всей производимой энергии. Это без учета того, что в летнее время необходимо охлаждение помеще-

ний, на которое расходуется электрическая энергия. На отопление жилых зданий расходуется около 45% всей вырабатываемой тепловой энергии. Основными источниками энергопотребления зданий являются внутренние потребности (нагрев или охлаждение помещений для обеспечения теплового режима, работа электроприборов и установок, обеспечение горячей водой и др.) и энергопотери (унос тепла за счет излучения, теплоотдача во внешнюю атмосферу и унос тепла через системы вентиляции). Среднегодовые потери на подогрев внешнего атмосферного воздуха, поступающего через системы вентиляции, составляют около 50% всего тепла, идущего на отопление зданий. Тепло, идущее на отопление, теряется также через стены (около 20%) и через перекрытия и окна (около 30%).

В связи с вышесказанным технические мероприятия, позволяющие реально повысить энергоэффективность гражданских и промышленных зданий и сооружений на проценты и даже на доли процентов, играют важную роль в реализации в масштабах экономики Российской Федерации.

В настоящее время вопросы энергетической эффективности зданий и сооружений регулируются рядом законодательных документов на федеральном уровне, в частности, Федеральным законом № 384-ФЗ от 30.12.2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и региональными законодательными актами, например Постановлением Правительства Москвы № 536-ПП от 05.10.2010.

Кроме энергетической эффективности проектирование, эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений должны также удовлетворять ряду важных требований, таких как механическая безопасность, безопасные условия для здоровья человека при проживании и пребывании и др. Сюда непосредственно относятся требования к обеспечению защиты от влаги, водонепроницаемость кровли, наружных стен, перекрытий, а также стен подземных этажей и полов, недопущение образования конденсата на поверхностях и в объеме ограждающих строительных конструкций. Механическая безопасность должна быть на уровне, исключающем деформации недопустимой величины строительных конструкций и повреждения части здания или сооружения, сетей инженерно-технического обеспечения или систем инженерно-технического обеспечения. В процессе эксплуатации энергетическая эффективность и безопасность здания или сооружения должны обеспечиваться посредством технического обслуживания, периодических осмотров, а самое главное, путем периодического мониторинга состояния строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения.

Поскольку здания представляют собой сложные сооружения, состоящие из множества связанных и находящихся под нагрузкой конструктивных элементов и инженерно-технических коммуникаций, наиболее рациональными и безопасными способами осмотра и мониторинга являются методы неразрушающего контроля, сре-



Рис. 1. Действительное и тепловое изображение элемента ограждающей конструкции

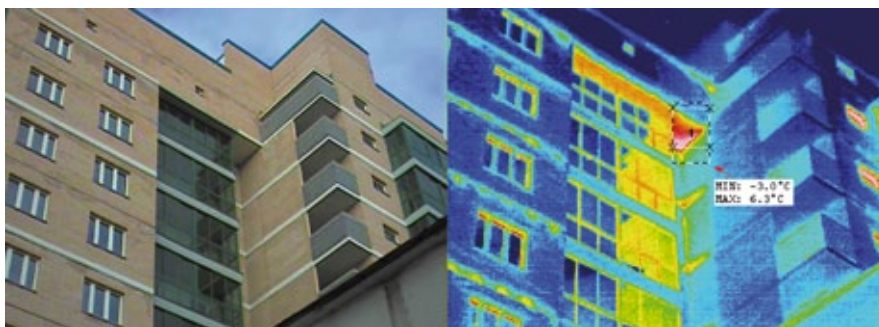


Рис. 2. Действительное и тепловое изображение участка ограждающей конструкции здания

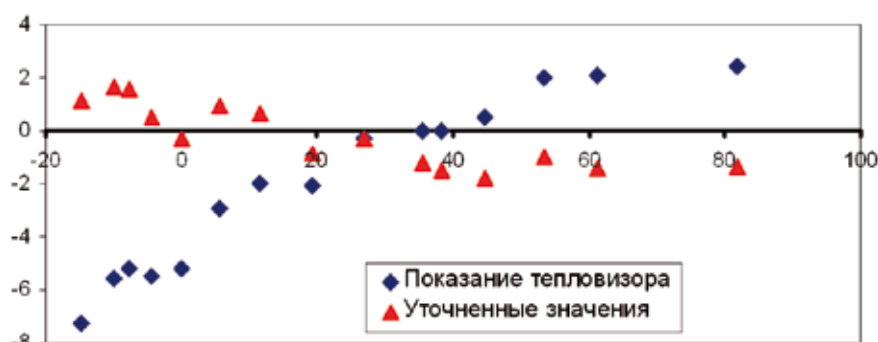


Рис. 3. Зависимость ошибки измерения прибором testo 881-2 и ошибок после корректировки результатов от температуры черного тела

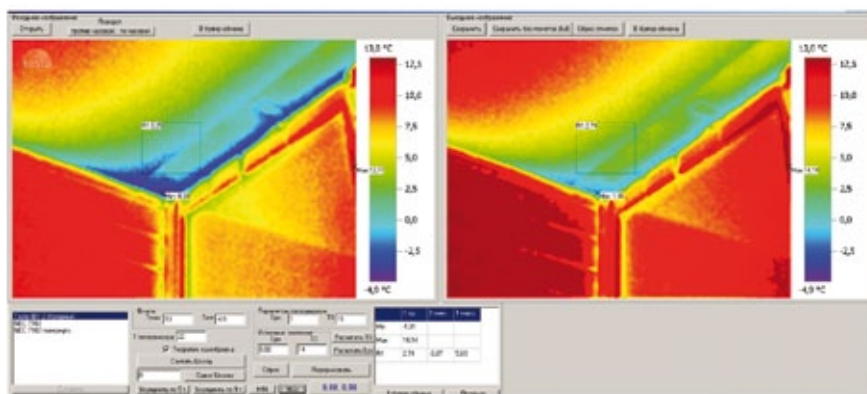


Рис. 4. Программа обработки термограмм

ди которых особое место занимает тепловизионное обследование.

Основным достоинством тепловизионного метода контроля является то, что без физического контакта с обследуемой поверхностью он позволяет получить данные по распределению температуры (термограммы) на поверхности обследуемого объекта. Распределение темпера-

туры, в свою очередь, позволяет обнаружить тепловые аномалии, зоны тепловых потерь, обнаружить и идентифицировать скрытые дефекты, в том числе зоны накопления и конденсации влаги, области фильтрации наружного воздуха через ограждающие конструкции и другие. Тепловизионный метод по разнице температуры позволяет обнаруживать скрытые

конструктивные детали, включая элементы инженерных систем, дефектные зоны систем теплоснабжения, а также области накопления существенных деформаций строительных конструкций. При достаточно точном измерении температур тепловизионный метод позволяет рассчитать теплотехнические характеристики строительных конструкций, например относительное сопротивление теплопередаче в различных точках ограждающей конструкции. В совокупности с результатами измерений другими тепловыми измерительными приборами тепловизионный метод позволяет определить основные показатели энергоэффективности и безопасности объектов (рис. 1).

В настоящее время тепловизионный метод обладает одним важным недостатком, связанным с тем, что он является методом качественного тепловизионного контроля и в ряде случаев не позволяет получать достаточно точные величины температуры на обследуемой поверхности. Несмотря на это, получаемые термограммы достаточно часто позволяют вполне достоверно характеризовать относительное изменение температуры на поверхности и могут быть использованы для подготовки выводов о существующих теплотехнических неоднородностях.

Технически современные тепловизоры, с помощью которых проводят тепловизионные обследования зданий и сооружений, представляют собой устройства по внешнему виду и способу использования, похожие на видеокамеры и фотоаппараты. Данные устройства также содержат оптическую систему, как правило, на основе линз, выполненных из германия; экран для отображения измеряемого распределения температур; в отдельных случаях приборы оснащены также цифровым видеодисплеем.

Действие таких приборов очень наглядно на практике и в большинстве случаев приводит к тому, что специалисты, проводящие тепловизионные обследования, не уделяют должного внимания вопросам достоверности получаемого распределения температуры.

Проблема в том, что тепловизор как таковой не производит измерения непосредственно температуры поверхности, он направлен на регистрацию получаемого от объектов теплового излучения, которое обусловлено не только нагреваемостью самого объекта, но и свойствами его поверхности, положением точки съемки термограммы, излучением от

сторонних объектов, от погодных условий, в том числе облачности (при наружных съемках), и геометрической формы обследуемого объекта.

Проблема усложняется также тем, что в настоящее время фактически отсутствует нормативная база, регламентирующая методики проведения обследований и обработки получаемых данных. Имеется также сложность, связанная с применением современного оборудования, обусловленная неточностями при регистрации собственно радиационной температуры.

Следует ввести понятие радиационной температуры, регистрируемой прибором, так как она несколько отличается от традиционного понятия. Радиационная температура объекта (поверхности) – это температура абсолютно черного тела, излучение которого регистрируется чувствительным элементом тепловизора с тем же сигналом, что и излучение объекта (поверхности).

Если говорить о тех приборах, которые в настоящее время применяются на практике, то подавляющее большинство из них основано на использовании микроболометрических матриц в качестве чувствительных элементов и с заданными диапазонами длин волн 3–5 мкм и 8–14 мкм (существуют различные вариации данного диапазона длин волн: 7–14, 7–13, 8–13, 8–12 мкм). Для проведения обследований зданий и сооружений больше подходит второй длинноволновый диапазон. Принцип работы микроболометрических элементов заключается в изменении температуры вследствие поглощения падающего излучения, т. е. данные элементы не селективно воспринимают все падающее на них излучение. Другими словами, относительная спектральная чувствительность для большинства современных приборов фактически представляет собой спектральную функцию пропускания для оптической системы тепловизора.

Другой тип приборов – приборы, содержащие в качестве чувствительного элемента охлаждаемые жидким азотом фотонные приемники, непосредственно преобразующие тепловое излучение в электрический сигнал. Приборы могут содержать матричные приемники или единственный детектор и оптико-механическую систему развертки для формирования изображения (сканирующие приборы). Использование сканирующих приборов, несмотря на потерю в быстродействии, позволяет ис-

ключить перекрестное влияние элементов матрицы друг на друга, практически исключить влияние aberrаций оптической системы и необходимость постоянной самокалибровки тепловизора, а также относительно легко позволяет наращивать разрешение получаемых термограмм.

Применяемые для обследования строительных объектов тепловизоры поставляют в каждой точке термограммы один сигнал, который связан с энергетической светимостью элемента поверхности. При этом пересчет сигнала в температуру связан не только с заданием калибровочной зависимости, измеренной на абсолютно черном теле, но и множеством других факторов, характеризующихся целым набором параметров. К таким параметрам относятся: коэффициент излучения (величина, характеризующая долю собственного излучения от всей энергетической светимости объекта); температура отраженного излучения (радиационная температура, характеризующая мощность излучения от сторонних объектов); удаленность точки съемки, влажность, температура воздуха и содержание углекислого газа.

Еще одной проблемой является то, что учет отраженного излучения для разного типа поверхностей должен проводиться по-разному. Зеркальные поверхности отражают излучение в соответствии с законами геометрической оптики. Шероховатые поверхности отражают излучение в зависимости от степени шероховатости. Возможно и чисто диффузное отражение равномерно во всех направлениях, а также смешанный направленно-диффузный механизм отражения, при котором в зависимости от местоположения тепловизора отраженное излучение либо видимо, либо невидимо.

Помимо области повышенных тепловых потерь, выделенной прямоугольником, можно видеть повышенную регистрируемую температуру на окнах в центре термограммы (рис. 2). Если сравнить тепловое изображение с видимым, то становится ясно, что в обоих диапазонах мы наблюдаем отражение излучения от балконов справа. К сожалению, во многих случаях доподлинно установить, что же мы видим на термограмме стекол и иных гладких поверхностей: просто разные отражения или же температуру данных поверхностей действительно существенно различаются, весьма сложно.

При обработке и анализе термограмм не следует забывать, что тепло-

визор является бесконтактным прибором и не может точно показать, какая же температура на точке поверхности.

Возвращаясь к обработке сигнала, можно отметить еще один важный факт: многие тепловизоры фактически не предназначены для обследования холодных объектов, точнее более холодных, чем температура самого тепловизора. Данный факт приводит к тому, что они сильно занижают регистрируемую температуру поверхности (рис. 3). На данном рисунке представлены результаты измерения температуры охлаждаемого/нагреваемого полостного, близкого к абсолютному, черного тела тепловизором и контактным методом. Методика перерасчета разработана авторами. Можно видеть, что при температуре около нуля и ниже ошибка становится очень существенной: тепловизор вместо 0°C показывает -5°C, и дальше погрешность только растет.

Ошибки связаны с процедурой самокалибровки тепловизоров (рис. 3). Уменьшить эти ошибки можно с помощью заводской калибровки приборов в широком диапазоне температуры или с помощью специальной математической обработки полученных результатов в процессе съемки. Однако большинство производителей приборов пока не используют этих возможностей. Это, в свою очередь, приводит к тому, что тепловизоры часто рассматривают не как измерительные приборы, а лишь как обнаружительные. В настоящее время авторами ведется разработка специальной программы, направленной на реализацию методики и для более точного учета отраженного излучения, чем это обычно реализовано в программных пакетах, предоставляемых вместе с оборудованием (рис. 4).

Для того чтобы получать количественные термограммы, каждая точка, на которых отвечала бы действительной температуре с известной наперед точностью, одной программной обработки не может быть достаточно ввиду того, что, как говорилось выше, каждой точке термограммы соответствует лишь одно значение сигнала, а для пересчета в действительную температуру нужно знать еще целый ряд параметров, многие из которых могут существенно изменяться от точки к точке. Поэтому количественное, а часто и качественное термографирование требует применения специальных методик, адаптированных к каждому конкретному строительному объекту, высокой квалификации специалистов и определенных условий, в том числе погодных, для получения достоверных результатов.

УДК 697.133

Д.В. КРАЙНОВ, инженер, Р.А. САДЫКОВ, д-р техн. наук,
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Определение дополнительных потоков теплоты через элементы фрагмента ограждающей конструкции

На основе выбранного примера рассматривается влияние геометрических размеров элементов на дополнительный поток теплоты. Приводится методика определения дополнительного потока теплоты через элемент фрагмента ограждающей конструкции.

Ключевые слова: приведенное сопротивление теплопередаче, фрагмент ограждающей конструкции, геометрический размер, дополнительный поток теплоты.

Основной теплозащитной характеристикой фрагмента ограждающей конструкции является приведенное сопротивление теплопередаче. Согласно теории элементного подхода к расчету приведенного сопротивления теплопередаче [1] фрагмент ограждающей конструкции представляется в виде совокупности элементов. Элементы – это детали, из которых состоит фрагмент, причем они могут находиться на различном расстоянии друг от друга, но при любом взаимном расположении рассматриваются как независимые составляющие. Каждый элемент оказывает определенное влияние, возможно и незначительное, на поток теплоты через конструкцию.

Методика определения приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции основана на определении удельных потоков теплоты через каждый вид элементов фрагмента ограждающей конструкции. Поток теплоты, в свою очередь, определяется расчетом двумерных или трехмерных температурных полей.

Для выполнения расчета температурных полей необходимо правильно выделить из фрагмента ограждающей конструкции все элементы. Элементы подразделяются на следующие типы: площадные, линейные и точечные [1].

Для корректного определения потока теплоты необходимо определиться с методикой выбора геометрических

размеров элементов для выполнения расчета температурных полей, а также уделять особое внимание определению границ расчетных участков теплопроводных включений [2]. Рассмотрим предлагаемую методику на конкретном примере.

Рассмотрим фрагмент ограждающей конструкции – нецветопрзрачную часть оболочки здания (наружные стены). Наружные стены представляют собой трехслойную кладку, состоящую из следующих слоев: штукатурка (цементно-песчаный раствор) с внутренней стороны толщиной 15 мм; кладка из силикатного кирпича толщиной 510 мм; слой минеральной ваты толщиной 190 мм; облицовочный кирпич толщиной 120 мм. Характеристики материалов конструкции представлены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	Толщина слоя, мм	Плотность материала, кг/м ³	Расчетный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
Штукатурка (цементно-песчаный раствор)	15	1800	0,93
Кладка из силикатного кирпича	510	1800	0,87
Минеральная вата	190	20	0,041
Облицовочный кирпич	120	1800	0,87
Монтажная пена (пенополиуретан)	–	80	0,05
Дерево (сосна поперек волокон)	–	500	0,18
Стеклопакет	60	–	0,068

Таблица 2

Сторона	Температура воздуха, °С	Коэффициент теплоотдачи поверхности, Вт/(м ² ·°С)	
		Стена	Окно
Внутренняя	20	8,7	8
Наружная	-32	23	23

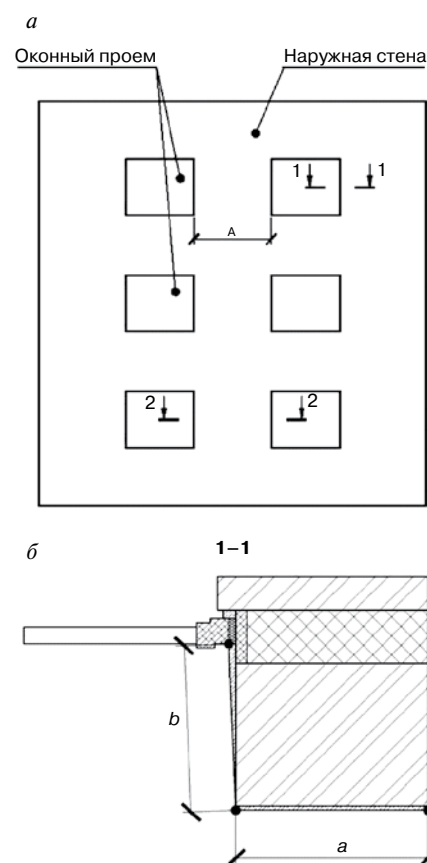


Рис. 1. Расчетные участки: а – схема стены; б – сечение I–I

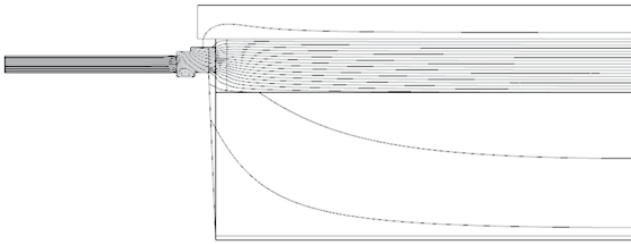


Рис. 2. Поле температуры в разрезе 1–1

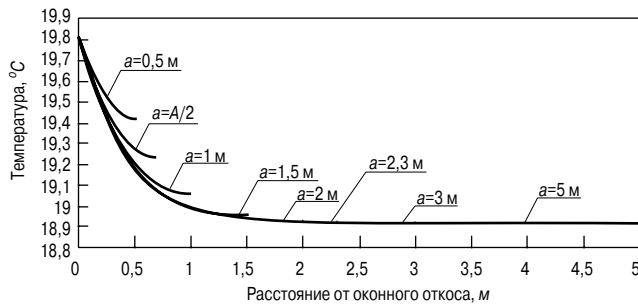


Рис. 3. Распределение температуры на внутренней поверхности участка стены при различных значениях величины a

Условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции найдем по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^4 \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_H}, \quad R_0 = 5,533 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}. \quad (1)$$

Рассмотрим задачу: насколько величина дополнительного потока теплоты зависит от геометрических размеров элементов, выделенных из фрагмента ограждающей конструкции.

Рассмотрим решение поставленной задачи на примере одного из элементов фасада здания – бокового оконного откоса (рис. 1).

Размер участка стены, вошедшего в рассматриваемый элемент, обозначим через a . Размер оконного откоса – через b . Величина b является постоянной для данного элемента ($b=0,6$ м). Величине a будем задавать различ-

ные значения в пределах от 0,5 до 5 м. Примем следующие значения для a : 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 5 м. Кроме того, из рис. 1, а видно, что ввиду симметрии расположения оконных проемов еще одним возможным значением для a может стать размер, равный половине межоконного простенка, – $A/2$. При выполнении расчетов примем $A=A_{\min}=1,37$ м (для рассматриваемого фасада здания). Соответственно $a=1,37/2=0,685$ м. Найдем такой размер a , который даст наибольшую (заданную) точность при определении дополнительного потока теплоты.

Для выбранных геометрических значений выполним расчет температурных полей элемента фрагмента ограждающей конструкции при стационарных условиях теплопередачи с использованием программы ELCUT [3]. Граничные условия для расчета представлены в табл. 2.

По результатам расчета определим: распределение температуры на внутренней поверхности участка стены (a); среднюю температуру внутренней поверхности участка стены (a) и откоса (b); величину теплового потока, проходящего через участок стены (a) и оконный откос (b); дополнительный поток теплоты через рассматриваемый элемент.

Результаты расчетов представлены на рис. 2–5 и сведены в табл. 3.

Из рис. 3 видно, что температура на внутренней поверхности стены вдали от оконного откоса остается постоянной и равна $\tau_{\text{вн}}=18,92^\circ\text{C}$. Это наблюдается при $a=3$ и 5 м. Такой же результат получим при расчете температуры на внутренней поверхности ограждения по формуле:

$$\tau_{\text{вн}} = t_B - \frac{(t_B - t_H)}{R_0 \alpha_B}, \quad \tau_{\text{вн}} = 18,92^\circ\text{C}. \quad (2)$$

По мере приближения к откосу температура возрастает до $\tau_{\text{вн}}=19,82^\circ\text{C} \approx 19,82^\circ\text{C}$. Данный факт объясняется тем, что через оконный откос (участок b) также проходит поток теплоты.

Возрастание температуры на внутренней поверхности участка стены начинается на расстоянии 2,3 м от оконного откоса. Поэтому в качестве расчетного примем еще один размер: $a=2,3$ м. Будем считать, что начиная с этого расстояния от откоса температура на внутренней поверхности стены остается постоянной. Область, в пределах которой происходит искажение температурного поля на внутренней поверхности ограждения, называется зоной влияния данного теплопроводного включения [4]. Другими словами, a является размером зоны влияния оконного откоса на температурное поле стены.

Тепловые потоки, как через рассматриваемый элемент, так и через участок однородной стены тех же размеров, линейно возрастают с увеличением параметра a (рис. 5).

При расчете температурных полей фрагмента с малым участком стены (a) получается завышенная температура на внутренней поверхности участка стены и заниженное значение величины теплового потока.

Как видим, на величину дополнительного потока теплоты геометрический размер выбранного элемента оказывает малое влияние.

С точки зрения элементного подхода к расчету приведенного сопротивления теплопередаче все элементы фасада здания рассматриваются независимо от расположения по отношению друг к другу [1]. Согласно этой теории для определения дополнительного потока теплоты видится более корректным использовать в расчетах фрагмент

Таблица 3

Размер участка стены, вошедшего в рассматриваемый элемент, м	Средняя температура внутренней поверхности участка стены, °C	Средняя температура внутреннего откоса, °C	Поток теплоты через элемент фрагмента ограждающей конструкции, Вт/м	Поток теплоты через участок однородной стены тех же размеров, Вт/м	Дополнительный поток теплоты через рассматриваемый элемент, Вт/м	Относительная погрешность при сравнении с базовым размером, %	Доля от потока теплоты через участок однородной стены, %
0,5	19,56	18,71	7,951	4,699	3,252	0,9	69
1	19,28	18,63	12,674	9,398	3,276	0,2	35
1,5	19,16	18,63	17,374	14,098	3,276	0,1	23
2	19,1	18,63	22,08	18,797	3,283	0,1	17
3	19,04	18,63	31,475	28,194	3,281	0	12
5	18,99	18,63	50,273	46,992	3,281	0	7
0,685	19,42	18,66	9,706	6,438	3,268	0,4	51
2,3	19,08	18,63	24,897	21,616	3,281	–	15

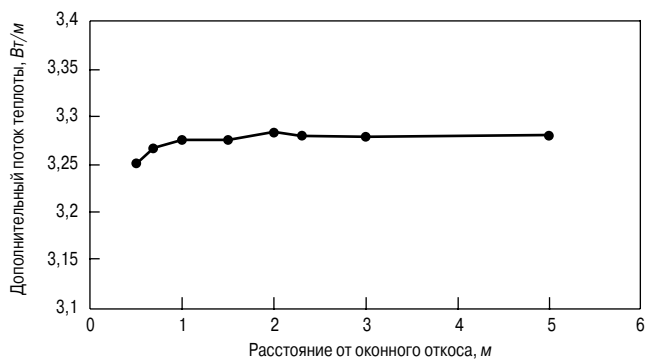


Рис. 4. Зависимость дополнительного потока теплоты от размера участка стены a

с участком стены такого размера, при котором температура на внутренней или наружной поверхности (в зависимости от выбранного элемента) перестает изменяться (становится постоянной).

Для определения дополнительного теплового потока, проходящего через элемент фрагмента ограждающей конструкции, необходимо выполнить расчет температурного поля. Перед началом расчета необходимо определиться с размерами выбранного элемента. Геометрический размер элемента стоит принимать исходя из следующих соображений: размер участка стены, вошедшего в расчетный элемент (узел с теплопроводным включением), должен быть таким, чтобы температура на поверхности (внутренней или наружной) стены вдали от теплопроводного включения была постоянной.

Для определения размера участка стены, вошедшего в расчетный элемент, необходимо: выполнить расчет температурного поля элемента фрагмента ограждающей конструкции с заведомо большим участком стены; найти, на каком расстоянии от теплопроводного включения температура на внутренней (или наружной) поверхности становится постоянной; определить поток теплоты, проходящий через рассматриваемый элемент найденного размера; определить поток теплоты, проходящий через условную ограждающую конструкцию тех же размеров; найти дополнительный поток теплоты, проходящий через рассматриваемый элемент фрагмента ограждающей конструкции.

Данная методика позволяет абстрагироваться от реальных геометрических размеров элементов фрагмента ограждающей конструкции, количество вариантов которых на практике (для одного рассматриваемого здания) может быть большим. Представленная методика позволяет: с высокой точностью определять дополнительные потоки теплоты, проходящие через различные элементы фрагмента ограждающей конструкции; оценить их весовую долю в общем потоке теплоты, что позволяет наметить пути тепло-технического совершенствования отдельных узлов и далее рассчитать приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции.

Список литературы

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 1. С. 4–12.

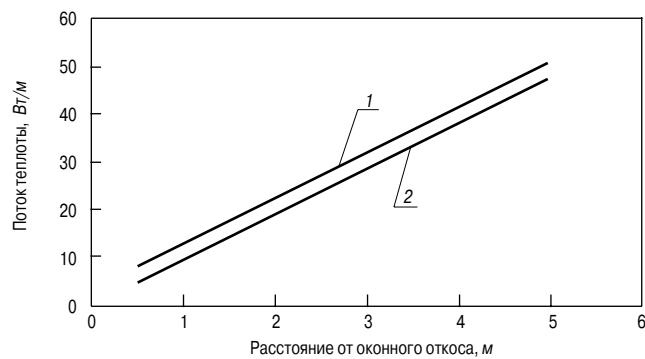


Рис. 5. Зависимость потока теплоты от размера участка стены. Потоки теплоты, Вт/м: 1 – через неоднородный участок (по результатам расчета температурных полей); 2 – через участок однородной стены

2. Протасевич А.М., Крутилин А.Б. Классификация вентилируемых фасадных систем. Влияние теплопроводности включений на их теплозащитные характеристики // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8(26). С. 57–62.
3. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя. СПб: ПК TOP, 2009.
4. 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.

7-9 АВГУСТА ЧЕЛЯБИНСК

СТРОИТЕЛЬСТВО 2012 ВЫСТАВКА-ФОРУМ

Выставка-форум «Строительство-2012» продемонстрирует достижения всех участников строительного процесса - от научных разработок до их внедрения, от проектных решений, производства строительных материалов до готовых объектов.

Разделы выставки:

- Современные технологии в строительстве
- Строительные конструкции, изделия
- Промышленное строительство
- Гражданское строительство
- Объекты недвижимости
- Малоэтажное строительство
- Строительные материалы и оборудование для их производства
- Строительные комплексы, машины и механизмы
- Наука в строительстве

- Инженерные сети: водо-, тепло-, газо-, электроснабжение
- Вентиляция, кондиционирование
- Оборудование зданий и сооружений
- Дорожное строительство
- Строительно-дорожная техника
- Современные ресурсосберегающие технологии и материалы в строительстве
- Экология в строительстве
- Автоматизация в строительстве и эксплуатации жилья
- Инвестиционные и инновационные проекты
- Зодчество и архитектура

В РАМКАХ ВЫСТАВКИ:
 КРУГЛЫЕ СТОЛЫ, КОНФЕРЕНЦИИ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ ОТРАСЛИ
 ТОРЖЕСТВЕННЫЙ ПРИЕМ В ЧЕСТЬ
ДНЯ СТРОИТЕЛЯ

Организатор:
ДС «Юность»
ПАО «Свердловский областной телеканал»
РПЦ «Юность»

ДС «Юность». Свердловский пр., 51
 Тел.: (351) 215-88-77, 231-37-41 www.pvo74.ru

УДК 621.745.012

*О.Д. САМАРИН, канд. техн. наук (samarin1@mtu-net.ru),
Московский государственный строительный университет*

Предложения по совершенствованию актуализированной редакции СНиП 23-02

Рассмотрено развитие концепции актуализированной версии СНиП 23-02 «Тепловая защита здания». Предложены изменения и дополнения, позволяющие избежать ошибок при переработке данного документа.

Ключевые слова: энергопотребление, энергоэффективность, удельная теплозащитная характеристика, удельная вентиляционная характеристика, удельный расход тепловой энергии.

В настоящее время производится пересмотр нормативной базы в области строительства, в том числе актуализация СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита здания» для приведения его в соответствие с изменившимися требованиями законодательства. Рассмотрим некоторые обстоятельства, которые следует обязательно учесть во избежание сохранения уже имеющихся в настоящее время существенных ошибок и неточностей [1] и в развитие предложений [2], выдвинутых при разработке актуализированной редакции СНиП 23-02–2003.

Рассмотрим формулу (1) актуализированной редакции для расчета удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_{от}^p$ [2]:

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад})v\zeta(1 - \xi)\beta_h], \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}), \quad (1)$$

где $k_{об}$ и $k_{вент}$ – соответственно удельная теплозащитная и удельная вентиляционная характеристики здания, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$; $k_{быт}$ и $k_{рад}$ – удельные характеристики теплопоступлений (бытовых и от солнечной радиации), $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$; ζ – коэффициент эффективности авторегулирования систем отопления; v – тепловая инерция ограждения; ξ – ко-

эффициент снижения теплопотребления за счет наличия поквартирного учета тепловой энергии; β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системами отопления.

На самом деле коэффициент β_h , учитывающий дополнительное теплопотребление системами отопления, должен относиться не к общей сумме, а только к слагаемому $k_{об}$, потому что по своему смыслу, указанному в расшифровке параметров формулы, он касается только составляющей теплозатрат, связанных с теплопотерями через оболочку здания. Наличие коэффициента снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждений v представляется вообще необоснованным, поскольку теплоинерционность конструкций в сочетании с использованием автоматического регулирования климатических систем имеет значение только для расчета **максимальной** тепловой или холодильной **мощности** систем, которая всегда будет ниже, чем максимальная величина теплопотерь или теплопоступлений. В то же время суммарные за период значения теплопоступлений и теплопотерь при периодическом колебательном процессе всегда равны, поэтому введения каких-либо коэффициентов к **общему энергопотреблению** не требу-

Результаты расчета энергетических показателей школьных зданий

Таблица 1

№ проекта	Отапливаемый объем V_n , м ³ [4]	Коэффициент компактности, м ⁻¹	Удельная теплозащитная характеристика, Вт/(м ³ ·К)		Разность $k_{об}^{TP} - k_{об}$	Средняя кратность воздухообмена n_a , ч ⁻¹ [4]
			фактическая $k_{об}$	базовая $k_{об}^{TP}$ [2]		
435	7732	0,447	0,154	0,219	0,065	0,809
424	11830	0,311	0,122	0,201	0,079	1,119
611	15359	0,363	0,152	0,192	0,04	0,717
327	5367	0,474	0,211	0,237	0,026	0,815
386	8193	0,504	0,215	0,216	0,000	0,829
686	28000	0,281	0,132	0,175	0,043	0,501
531	7591	0,424	0,175	0,219	0,045	0,818
697	31370	0,298	0,126	0,173	0,047	0,811
705	14500	0,414	0,157	0,194	0,037	0,588
702	11690	0,479	0,185	0,202	0,016	0,502

Продолжение табл. 1

Удельная вентиляционная характеристика $k_{\text{вент}}^p$, Вт/(м ³ ·К)	Удельные характеристики теплопоступлений, Вт/(м ³ ·К)		Удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, Вт/(м ³ ·К)		Разность $q_{\text{от}}^{\text{TP}} - k_{\text{об}}$, Вт/(м ³ ·К)	Отклонение $q_{\text{от}}^p$ от базовой, %	Класс энергоэффективности
	$k_{\text{рад}}$	$k_{\text{быт}}$	фактическая $q_{\text{от}}^p$	базовая $q_{\text{от}}^{\text{TP}}$ [3]			
0,250	0,029	0,065	0,344	0,440	0,286	-21,797	B
0,346	0,031	0,068	0,40	0,417	0,295	-4,121	C
0,222	0,051	0,053	0,305	0,44	0,288	-30,66	B+
0,252	0,07	0,084	0,36	0,44	0,229	-18,128	B
0,256	0,062	0,091	0,37	0,44	0,225	-15,964	B
0,155	0,046	0,009	0,257	0,371	0,239	-30,595	B+
0,253	0,052	0,067	0,35	0,44	0,265	-20,544	B
0,251	0,039	0,031	0,333	0,417	0,291	-20,035	B
0,182	0,044	0,032	0,295	0,44	0,283	-32,971	B+
0,155	0,053	0,032	0,292	0,44	0,255	-33,561	B+

ется. Одновременно максимальное значение коэффициента эффективности авторегулирования систем отопления ζ не должно быть выше 0,85, поскольку даже при установке термостатов у отопительных приборов и авторегулировании на тепловом вводе возможны ситуации, когда в начале и конце отопительного периода теплопоступления в помещение окажутся больше, чем текущие теплопотери через оболочку. Тогда даже при полном отключении отопления останутся некоторые теплоизбытки, которые не могут быть полезны использованы, а идут на повышение температуры в помещении [3]. Таким образом, рекомендуемый вид формулы (1):

$$q_{\text{от}}^p = [k_{\text{об}} \beta_h + k_{\text{вент}} - (k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}) \zeta] (1 - \zeta), \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}). \quad (2)$$

В табл. 1 приведены результаты расчета энергетических показателей для зданий образовательных учреждений по методике актуализированной редакции с учетом вышеперечисленных предложений. При этом сопротивления теплопередаче R_i основных ограждающих конструкций были рассчитаны в соответствии с базовыми значениями, указанными в табл. 4 для значения градусо-суток отопительного периода $D_{\text{от}} = 4943 \text{ К} \cdot \text{сут}$, и региональных коэффициентов, принятых в размере 0,8 для несветопрозрачных ограждений и 1,3 для заполнений светопроемов на основе

рассмотренного в работе [1] оптимального уровня теплозащиты. Таким образом, $R_{\text{ст}} = 2,504 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $R_{\text{ок}} = 0,68 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $R_{\text{кр}} = 3,74 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $R_{\text{цок}} = 3,296 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Производительность систем механической вентиляции для расчета средней кратности воздухообмена была принята по проекту, а продолжительность работы данных систем в течение недели – на уровне 50 часов. Применение утилизации теплоты вытяжного воздуха при этом не учитывалось.

Таким образом, для всей исследованной совокупности объектов и принятом уровне теплозащиты предлагаемые в новой версии СНиП 23-02–2003 требования по величине $k_{\text{об}}$ [2] удовлетворяются, что дополнительно подтверждает правильность выдвинутых соображений [1] о рациональных значениях сопротивлений теплопередаче. Более того, даже в отсутствие теплоутилизации для всех зданий удовлетворяются и требования по суммарному удельному энергопотреблению на отопление и вентиляцию, причем, как правило, класс энергоэффективности получается не ниже B (высокого). И лишь для одного проекта с наибольшей кратностью воздухообмена удается обеспечить только класс C (нормальный), но и это соответствует нормативным условиям.

Отдельно была вычислена разность $q_{\text{от}}^{\text{TP}} - k_{\text{об}}$, показывающая допустимый уровень удельной вентиляционной характеристики за вычетом теплопоступлений.

Как видно из табл. 1, никакой статистически значимой зависимости при этом не наблюдается, причем коэффициент корреляции составляет всего $r = 0,17$. Отсюда можно сделать вывод, что нормирование этой разности, равно как и отдельно характеристики $k_{\text{вент}}^p$ в зависимости от величины V_h не представляется целесообразным.

На основе полученных данных можно предложить иной принцип нормирования величины $q_{\text{от}}^{\text{TP}}$, базовое значение которой должно складываться из базовой величины $k_{\text{об}}^{\text{TP}}$, зависящей от $D_{\text{от}}$ и V_h и от остальных параметров, входящих в формулу (2), которые будут связаны только с $D_{\text{от}}$. Разумеется, полученная сумма тоже будет явным образом зависеть от $D_{\text{от}}$, и тем самым будет устранен один из основных недостатков действующей редакции СНиП 23-02–2003, а именно практическое постоянство суммарного удельного энергопотребления здания в различных климатических условиях. Это условие приводит к необходимости дополнительно

Таблица 2
Предлагаемая базовая удельная характеристика расхода тепловой энергии для жилых зданий

$V_h, \text{ м}^3$	Значения $q_{\text{от}}^{\text{TP}}$ при различных $D_{\text{от}}, \text{ К} \cdot \text{сут}$:				
	1000	3000	5000	8000	12000
300	1,025	0,861	0,731	0,606	0,507
600	0,807	0,700	0,604	0,509	0,433
1200	0,639	0,576	0,505	0,433	0,376
2500	0,507	0,478	0,428	0,374	0,331
6000	0,402	0,400	0,365	0,327	0,295
15000	0,332	0,348	0,324	0,295	0,271
50000	0,277	0,308	0,291	0,271	0,252
200000	0,268	0,282	0,272	0,256	0,241

Таблица 3
Ориентировочные значения средней кратности воздухообмена за неделю n_a и максимальной удельной вентиляционной характеристики здания $k_{\text{вент}}$

Назначение здания	$K_p, \text{ч}^{-1}$	$n_{\text{вент}}, \text{ч/нед}$	$n_a, \text{ч}^{-1}$	$k_{\text{вент}}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$
Жилые	0,67	168 (круглосуточно)	0,67	0,208
Магазины	1,2	112	0,8	0,248
Административные	1,33	45	0,36	0,11
Детские и образовательные	2,2	60	0,79	0,244
Медицинские	2,5	84	1,25	0,388
Спортивные и зрелищные	3,3	90	1,77	1,023

го повышения теплозащиты ограждений в южных районах, а в северных, напротив, получается слишком большой запас по сравнению с нормативными энергозатратами, даже при допустимом снижении величины R .

В табл. 2 приведены рекомендуемые данные по $q_{\text{от}}^{\text{TP}}$ для жилых зданий. Базовый уровень $k_{\text{об}}^{\text{TP}}$ снова был принят по таблице [2] проекта актуализированной версии СНиП 23-02-2003.

Видно, что полученные значения существенно отличаются от имеющихся в таблицах для $q_{\text{от}}^{\text{TP}}$, предлагаемых в [2], в основном в сторону увеличения при малых V_n , хотя для зданий большого объема результаты оказываются сопоставимыми. Одновременно мы избавляемся и еще от одного дефекта, поскольку в имеющейся редакции влияние V_n на нормативное удельное энергопотребление вообще не учитывается.

При этом значение $k_{\text{вент}}$ было принято постоянным и равным для жилых зданий $0,208 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, как показано ниже. Характеристика $k_{\text{быт}}$ вычислялась из следующих соображений: по определению $k_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}} A_{\text{ж}}}{V_n (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})}$ [2], но для большинства жилых зданий отношение $\frac{A_{\text{ж}}}{V_n} = \frac{0,67}{h_{\text{эт}}} \approx 0,243$, а разность $t_{\text{в}} - t_{\text{от}} \approx 0,338 \sqrt{D_d}$ в соответствии с вероятностно-статистическими соотношениями между климатическими параметрами [1]. Отсюда $k_{\text{быт}} \approx \frac{7,2}{\sqrt{D_d}}$, если принять минимальную величину удельных бытовых теплопоступлений $q_{\text{быт}} = 10 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Здесь $A_{\text{ж}}$ – жилая площадь, м^2 ; $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего воздуха (в среднем по зданию), $^{\circ}\text{C}$, по ГОСТ 30494–96* «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении»; $t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, $^{\circ}\text{C}$, по СНиП 23-01–99* «Строительная климатология».

Что касается параметра $k_{\text{рад}}$, он был оценен с использованием имеющихся данных по среднему коэффициенту остекления жилых зданий (около 0,18) и средним удельным теплопоступлениям от солнечной радиации за отопительный период (порядка $400 \text{ МДж}/\text{м}^2$), откуда получается $k_{\text{рад}} = 50/D_d$. Разумеется, последняя величина в определенной степени зависит от района строительства, и главным образом от его географической широты, но с учетом сравнительно небольшой доли $k_{\text{рад}}$ в общей сумме $q_{\text{от}}^{\text{TP}}$ этим обстоятельством для рассматриваемых целей можно пренебречь. Надо отметить, что за рубежом подобный комплексный учет факторов, воздействующих на микроклимат помещения, предлагался, например, в работе [5].

Для общественных зданий необходимо учитывать, что механическая вентиляция с подогревом притока действует в них не круглосуточно, а только в течение рабочего времени, определяемого функциональным назначением здания. В табл. 3 приведены значения средней кратности воздухообмена в рабочее время K_p по данным СНиП 31-01–2003 «Здания жилые многоквартирные», СНиП 31-05–2003 «Общественные здания административного назначения», СНиП 31-06–2009 «Общественные здания и сооружения», среднее число часов работы системы вентиляции в неделю $n_{\text{вент}}$ (методом экспертной оценки) и параметры n_a и $k_{\text{вент}}$, определяемые по формулам [2].

Список литературы

1. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: Изд-во АСВ, 2011. 296 с.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 2–6.
3. Малявина Е.Г. Теплопотери здания. М.: Изд-во «АВОО-ПРЕСС», 2007. 144 с.
4. Строительный каталог. Перечень типовой документации общественных зданий для строительства в городах и поселках городского типа. М.: ГУП ЦПП, 1994.
5. Kalibatas D., Krutinis M., Viteikienė M. Multi-objective evaluation of microclimate in dwelling. // Technological and economic development of economy, 2007, Vol. XIII, № 1, P. 24–31.

25-28 СЕНТЯБРЯ УФА-2012

ФОРУМ
УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ
XXII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ в СТРОИТЕЛЬСТВЕ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ
МАЛОЭТАЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

БАШКИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ
тел: (347) 253 14 33, 253 38 00, 241 74 19
e-mail: stroy@bvkeexpo.ru

www.bvkeexpo.ru

БВК БАШКИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

УДК 622.7.01

К. С. ШАГИНЯН, инженер (shks@list.ru),
НИИСФ РААСН

Об энергопотреблении зданий

Создание комфортного микроклимата в зданиях остается актуальной задачей даже в современных условиях постоянного сокращения потребления энергетических ресурсов. Минимизация воздухообмена здания с окружающей средой с одновременным применением дополнительных средств регулировки состава внутреннего воздуха является наиболее перспективным способом сохранения баланса между потреблением энергии и комфортной внутренней средой.

Ключевые слова: мембрана, углекислый газ, энергосбережение, воздухообмен, комфорт.

Представляет интерес вопрос о выборе оптимального сочетания решений, обеспечивающих экономически обоснованное снижение энергопотребления и сохранение комфорта в помещении. Для этого необходимо представить структуру энергетического баланса здания и связанные с ней возможности изменения энергозатрат по различным составляющим баланса.

Затраты энергии на функционирование инженерных систем группы общественных зданий в условиях города Москвы выполнены по методике Стандарта РНТО «Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий». Данная методика позволяет учитывать основные виды энергетических затрат и их снижение за счет применения энергосберегающих мероприятий (рис. 1).

Распределение затрат энергии на функционирование инженерных систем можно получить из анализа результатов расчета, выполненного по данной методике (табл. 1).

Несмотря на весьма разнообразную форму и размеры зданий (отапливаемая площадь изменялась в преде-

лах от 3 до 14 тыс. м²), а также на различное назначение исследованных объектов – культурных, зрелищных, медицинских, торговых, административных и некоторых других зданий – энергетический баланс для большинства из них имеет сходный вид (табл. 1). Можно выделить здание № 7, за счет большего расхода теплоты на подогрев воды в системе ГВС, поскольку оно является оздоровительным центром санаторного типа и в определенном смысле, приближается по характеру энергозатрат к жилым зданиям.

Из анализа табл. 1 видно, что трансмиссионные потери тепла через ограждающие конструкции в среднем составляют около 25% от суммарных энергетических затрат на функционирование здания, следовательно, повышение теплозащиты ограждений не совсем оправданно. Таким образом, проведение мероприятий по утеплению зданий позволит сократить общие энергетические потери при эксплуатации здания более чем на треть (табл. 1).

Поскольку утеплению подлежат панельные дома 1960–1970 гг., срок окупаемости вложенных средств соизмерим

Энергетический баланс группы общественных зданий

Таблица 1

№ здания	Составляющие затрат (в долях от общего энергопотребления)					
	Трансмиссионные теплотери	Подогрев воздуха	В т. ч. для механической вентиляции	В т. ч. при инфильтрации	Подогрев воды для ГВС	Затраты электроэнергии
1	0.261	0.664	0.549	0.115	0.009	0.176
2	0.146	0.559	0.407	0.153	0.016	0.172
3	0.290	0.587	0.427	0.160	0.043	0.080
4	0.285	0.548	0.383	0.155	0.073	0.094
5	0.316	0.608	0.498	0.110	0.010	0.066
6	0.300	0.478	0.374	0.104	0.112	0.110
7	0.166	0.303	0.248	0.055	0.429	0.102
8	0.345	0.428	0.313	0.116	0.023	0.204
9	0.377	0.478	0.344	0.134	0.036	0.109
10	0.278	0.507	0.458	0.049	0.010	0.206
11	0.393	0.423	0.292	0.131	0.029	0.154
12	0.214	0.688	0.622	0.065	0.018	0.080
Средние значения, %						
	28.10	52.27	41.05	11.22	6.72	12.94

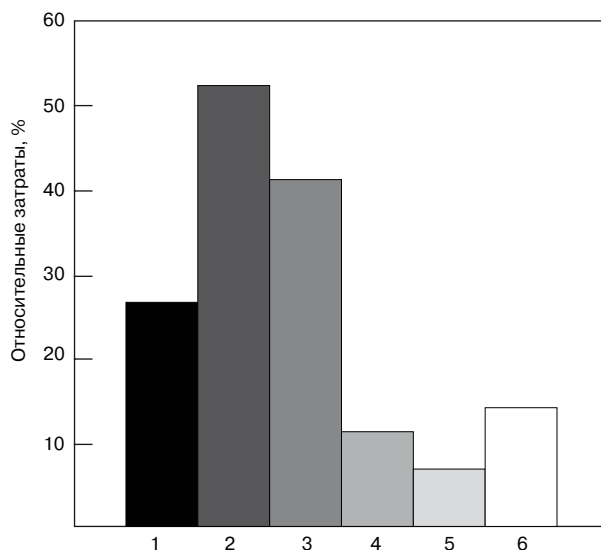


Рис. 1. Составляющие энергозатрат общественных зданий: 1 – трансмиссионные потери; 2 – подогрев воздуха; 3 – потери в системах механической вентиляции; 4 – потери инфильтрации; 5 – подогрев воды для ГВС; 6 – затраты электроэнергии

со сроком эксплуатации здания. Поэтому с экономической точки зрения данное мероприятие не оправданно.

Большую часть (около половины) в энергетическом балансе здания (табл. 1) занимают расходы на подогрев приточного воздуха. Таким образом, при повышении энергоэффективности здания в первую очередь следует рассматривать мероприятия, направленные на сокращение потерь в системе вентиляции. Наименее затратным мероприятием является применение метода утилизации теплоты вытяжного воздуха для первичного подогрева приточного воздуха (рекуперация). Особое внимание стоит уделить системам рекуперации с промежуточным теплоносителем в отличие от других систем подобные аппараты занимают мало места и собираются из типовых теплообменных устройств, которые не требуют объединения приточной и вытяжной установки в единое целое. При коэффициенте температурной эффективности до 50% происходит снижение суммарных энергозатрат в среднем на 25% от первоначального уровня.

Уменьшать энергопотребление зданий за счет снижения интенсивности воздухообмена недопустимо в соответствии с существующими санитарно-гигиеническими нормами. Требования по интенсивности вентиляции, установленные

строительными нормами (табл. 2), находятся на минимально допустимом уровне с точки зрения безопасного пребывания людей в помещениях и обеспечения надлежащих режимов эксплуатации зданий.

Анализируя данные табл. 2, видно существенную разницу по требованиям к воздухообмену в соответствии с различными нормативами. Данные различия свидетельствуют о необходимости проведения дополнительных исследований по эксплуатации зданий при различной интенсивности вентиляции.

Также необходимо учитывать, что требования к интенсивности вентиляции (табл. 2) часто не выполняются. Пример расчета естественного воздухообмена типовой двухкомнатной квартиры серии 125-03-НПУ-89, расположенной на первом этаже девятиэтажного дома; производился на основании данных СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий», по которым окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений, в деревянных переплетах, имеют воздухопроницаемость не более 6 кг/(м²·ч) при величине перепада давления 10 Па, что соответствует воздухопроницаемости 9,41 кг/(м²·ч). Суммарная площадь окон в рассмотренной квартире составляет 6,75 м², следовательно, общий расход приточного воздуха будет равен L=9,41*6,75=63,51 (кг/ч), что соответствует 63,51/1,27 = 50,1 (м³/ч), где, ρ=1,27(кг/м³) – плотность внутреннего воздуха помещения [1].

Общая площадь квартиры составляет 53,7 м² (жилая – 32,6 м², объем квартиры 145 м³), исходя из приведенных данных в табл. 2 можно подсчитать требуемую интенсивность воздухообмена. Согласно СНиП 31-01–2003 «Здания жилые многоквартирные», необходимый воздухообмен в рассматриваемой квартире составляет: в нерабочем режиме 52,88 м³/ч, в рабочем режиме – 258,74 м³/ч. По СНиП 2.08.01.-89* «Жилые здания» необходимый воздухообмен составляет 237,68 м³/ч. Расчет воздухообмена, исходя из СП «Отопление и вентиляция жилых зданий» и СТО НП «АВОК» 2.1-2008 составляет 140 м³/ч.

Согласно СНиП 41-01–2003 «Отопление вентиляция и кондиционирование» минимальный расход наружного воздуха на одного человека составляет 60 м³/ч*чел, т. е. для стандартной двухкомнатной квартиры, в которой проживают 4 человека, необходимый приток свежего воздуха должен составлять порядка 240 м³/час. Таким образом, очевидно, что рассчитанные по нормам (СНиП 31-01–2003, СНиП 2.08.01.-89*) необходимые величины воздухообмена соотносятся с минимальными потребностями человека

Нормативные требования по воздухообмену в жилых зданиях [1]

Таблица 2

Наименование помещений	СНиП 2.08.01-89*	СТО НП «АВОК» 2.1 - 2008	СНиП 31-01–2003		А. Беккер. «Системы вентиляции»
			В нерабочем режиме	В режиме обслуживания (в рабочем режиме)	
Жилые комнаты	3 м ³ в час на 1 м ² пола	Кратность 0,35, но не менее 30 м ³ /ч на человека	Кратность 0,2	Кратность 0,5–1	Кратность 2–4
Кухни	От 60 до 90 м ³ / ч	От 60 до 90 м ³ / ч	Кратность 0,5	90 м ³ / ч	Кратность 25–30
Ванные комнаты, туалеты	25 м ³ / ч	От 25 до 50 м ³ / ч	Кратность 0,5	25 м ³ / ч	Кратность 8
Постирочные	Кратность 7	Кратность 5	Кратность 0,5	90 м ³ / ч	Кратность 6–8
Гардеробные, кладовые	Кратность 0,5	Кратность 1	Кратность 0,2	Кратность 0,2	–

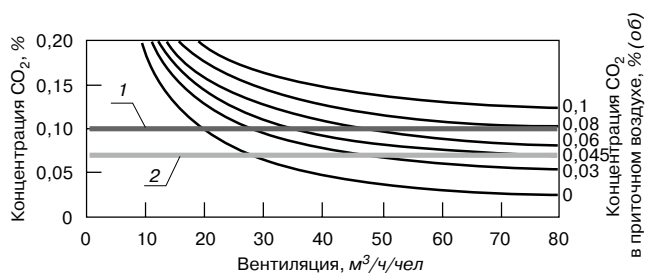


Рис 2. Зависимость содержания CO_2 в помещении от интенсивности вентиляции при различных концентрациях данного газа в атмосфере. 1 — нормативное значение по ASHRAE 62.1-2004, 62.1-2007 (0,1%), 2 — предельное рекомендуемое значение по данным Middlex University (UK) (0,07%).

в дыхании. Величина воздухообмена, рассчитанная по норме СТО НП «АВОК» 2.1-2008, является заниженной. Если руководствоваться нормами зарубежных стран при расчете необходимого воздухообмена в данной квартире, то искомая величина будет составлять 1100 м³/ч [2]. Таким образом, экономия энергетических ресурсов путем уменьшения объема притока наружного воздуха не представляется возможным.

Исходя из вышеизложенного следует, что системы естественной вентиляции существующие в настоящее время в России, реализуют недостаточную интенсивность воздухообмена, т. е. воздушная среда помещений никак не может быть названа комфортной для пребывания в ней человека. Становится ясным, что попытка реализовать комфортный микроклимат требует не только пересмотра концепции и устройства систем вентиляции зданий, но и приводит к повышению энергопотребления при эксплуатации, в том числе с современными системами рекуперации тепла. В современных условиях необходимости постоянного сокращения энергопотребления зданий данный путь развития становится невозможным.

Наиболее перспективным способом уменьшить затраты будет, как ни странно, минимизация воздухообмена с окружающей средой с применением дополнительных средств регулирования состава внутреннего воздуха [3,4].

Для реализации данного подхода перспективным представляется применение специальных приточных устройств, мембранные газоразделительные системы (МГС), которые будут поддерживать параметры внутренней воздушной среды. Так, если газоразделительная система (ГС) сможет обеспечить удаление излишнего углекислого газа в помещении, то требования по интенсивности вентиляции могут быть значительно снижены.

Рис 2. фактически обосновывает необходимую по СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» интенсивность вентиляции эксплуатируемых помещений. Для достижения содержания CO_2 в помещении, удовлетворяющего рекомендациям Middlex University (UK), необходимо обеспечить приток воздуха на уровне 40 м³/ч/чел (при содержании CO_2 в атмосфере 0,045%). Изменение концентрации CO_2 в приточном воздухе существенным образом влияет на необходимую интенсивность вентиляции для достижения рекомендуемых значений концентрации диоксида углерода в воздухе помещений. Таким образом, интенсивность вентиляции зависит еще и от экологической обстановки. Для экологически неблагоприятных территорий необходимо обеспе-

чивать более интенсивную вентиляцию, чем для зеленых территорий [4].

Обобщая все вышесказанное, можно отметить, что такие понятия, как энергосбережение и комфортные условия (удовлетворяющие различным гигиеническим нормам) пребывания в помещении, всегда будут находиться в противоречии между собой. Для нахождения некоего баланса между ними использование принципов мембранного газоразделения в строительстве представляется весьма перспективным.

Список литературы

1. Сайфутдинова А.М., Куприянов В.Н. Особенности естественного воздухообмена жилых помещений. // Academia. 2009. № 5. С. 319–325.
2. Окунев А.Ю., Шагинян К.С., Умякова Н.П., Смирнов В.А., Андрейцева К.С. Удаление углекислого газа – основная задача систем вентиляции гражданских зданий. Проблемы и пути решения // Строительные технологии. 2011. №1–2 (77–78). С. 108–110.
3. Окунев А.Ю., Перспективы применения мембранных технологий при эксплуатации зданий // Academia Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 476–479.
4. Окунев А.Ю., Шагинян К.С., Умякова Н.П., Смирнов В.А., Андрейцева К.С. Энергосбережение и комфортность внутреннего воздуха // ГОСТ. 2011. №1.

19 - 22 СЕНТЯБРЯ

ХАБАРОВСКАЯ БИМАРКА

ВЫСТАВКА

СТРОЙЭКСПОДВ
СОВРЕМЕННЫЙ ГОРОД 2012

www.expodv.ru

ХАБАРОВСКИЙ ЭКСПОЦЕНТР

г. Хабаровск, ул. Зеленая, 3а
Тел.: (4212) 911-070, 911-072
E-mail: stroyu@expodv.ru

УДК 699.86

*С.В. КОРНИЕНКО, канд. техн. наук (svkorn2009@yandex.ru),
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

Оценка энергоэффективности жилого здания по результатам энергоаудита

Проведен энергоаудит жилого здания, результаты которого использованы для оценки его энергоэффективности. Установлено, что обследованное здание соответствует нормативному требованию (класс энергоэффективности – С). Результаты энергоаудита использованы для верификации методики расчета энергетических показателей здания за отопительный период, разработанной автором. Намечены пути повышения энергоэффективности здания.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергоаудит, энергетический паспорт здания.

Одним из приоритетных направлений в современном строительстве является энергосбережение и повышение энергоэффективности зданий. Эта задача, отраженная в многочисленных правовых и нормативно-технических документах, может быть реализована путем совершенствования архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерно-технических решений.

В разработку энергетической концепции проектирования зданий большой вклад внесли В.Н. Богословский, Ю.А. Табунщиков, В.К. Савин, В.Г. Гагарин, К. Gertis и другие ученые [1–6].

Автором разработана методика расчета энергетических показателей здания [7–9], реализованная в компьютерной программе [10]. Данная методика позволяет производить расчет энергос затрат с учетом всех составляющих энергопотребления здания за отопительный период. Другим преимуществом методики является возможность определения структуры трансмиссионных теплопотерь через краевые зоны ограждающих конструкций.

В данной статье выполнена оценка энергоэффективности жилого здания по результатам энергоаудита, использованным для тестирования (верификации) указанной методики.

Объектом исследования является жилое многоквартирное здание, расположенное в Волгограде. Здание имеет Г-образную форму в плане. Количество этажей 21–23. Количество секций 3. Количество квартир 234. Здание имеет отапливаемый подвал, в котором размещаются автостоянка (паркинг) и помещения инженерно-технического назначения. На первом этаже здания находятся офисные помещения, на чердаке – инженерные коммуникации. Общая площадь здания 25776 м², отапливаемый объем 87000 м³.

Конструктивная система здания каркасная, с монолитным железобетонным каркасом. Наружные стены выполнены из газобетонных блоков с облицовкой кирпичной кладкой и поэтажным опиранием на перекрытия. Окна и балконные двери выполнены из однокамерных стеклопакетов (с низкоэмиссионным покрытием стекла) в ПВХ-переплетах. Покрытие, перекрытия над подвалом и под эркерами имеют эффективный утеплитель.

Теплоснабжение здания осуществляется от централизованного источника тепла (тепловых сетей). Система отопления двухтрубная с поквартирной горизонтальной разводкой, отопительные приборы (конвекторы) имеют встроенные терморегуляторы. Система вентиляции квартир естественная, с притоком воздуха через регулируемые оконные створки и удалением воздуха из кухонь, уборных, ванных комнат и совмещенных санузлов через вытяжные каналы. Инженерные системы здания оснащены приборами учета тепловой энергии, холодной и горячей воды, а также электрической энергии. На момент проведения энергоаудита продолжительность эксплуатации здания составила около пяти лет.

В ходе проведенного обследования установлено, что наружные ограждающие конструкции здания находятся в состоянии, обеспечивающем в целом нормальную эксплуатацию объекта в отопительный период. Окна, балконные и входные двери имеют уплотняющие прокладки в притворах. Требуемые по ГОСТ 30494–96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» параметры обеспечены. Вместе с тем в ряде квартир зафиксировано неплотное примыкание притворов светопрозрачных ограждающих конструкций окон и балконных дверей, а также наружных дверей в лестнично-лифтовых узлах, что может привести к избыточным тепловым потерям вследствие инфильтрации воздуха через теплозащитную оболочку здания и снижению его энергоэффективности.

Измерение и регистрация параметров энергопотребления здания выполнены экспресс-методом в течение двух недель с 22.12.2011 по 04.01.2012 г. Мониторинг расходов тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение производился в автоматическом режиме один раз в сутки по общедомовому теплосчетчику. Измерение расхода электроэнергии производилось поквартирно, с учетом показаний общедомового счетчика. Результаты измерений расхода тепловой энергии здания приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что расход тепловой энергии на отопление здания изменяется от $3,841 \cdot 10^7$ кДж/сут 28.12.2011 г. до $5,965 \cdot 10^7$ кДж/сут 03.01.2012 г., что связано с колебани-

Таблица 1

Результаты измерений расхода тепловой энергии здания

№ п.п.	Календарная дата	Температура наружного воздуха, °С	Фактический расход тепловой энергии, ×10 ⁷ кДж/сут		
			на отопление	на горячее водоснабжение	общий
1	22.12.2011	+1,2	4,402	1,416	5,818
2	23.12.2011	-1,6	4,761	1,42	6,181
3	24.12.2011	-0,8	4,889	1,445	6,334
4	25.12.2011	-2,9	5,51	1,506	7,016
5	26.12.2011	-3,8	5,776	1,46	7,236
6	27.12.2011	+0,8	4,355	1,363	5,718
7	28.12.2011	+2,5	3,841	1,461	5,302
8	29.12.2011	-1,6	5,052	1,493	6,545
9	30.12.2011	-2,6	5,278	1,437	6,714
10	31.12.2011	-0,1	4,394	1,613	6,008
11	01.01.2012	-1,2	5,087	1,38	6,467
12	02.01.2012	-1,1	5,225	1,323	6,548
13	03.01.2012	-4,6	5,965	1,46	7,426
14	04.01.2012	-2,2	5,476	1,308	6,784

ями температуры наружного воздуха. Колебания расхода тепловой энергии на горячее водоснабжение незначительны и определяются главным образом привычками и бытом жильцов.

Результаты измерений расхода электрической энергии здания приведены в табл. 2.

Используем полученные данные для расчета энергопотребления здания за отопительный период.

Удельное потребление тепловой энергии на отопление здания определяем на основе ГОСТ 31168–2003 «Здания жилые. Метод определения удельного потребления энергии на отопление» при температуре внутреннего воздуха $t_{int} = 22^{\circ}\text{C}$, принятой согласно ГОСТ 30494–96 по верхней границе комфортных условий.

Общие теплопотери через наружные ограждающие конструкции оболочки здания за i -е сутки Q_h^i , Вт, определяются на основе теплового баланса здания по формуле:

$$Q_h^i = \frac{0,278[Q_{ht}^i + v\zeta(Q_{int} + Q_s)]}{\Delta\tau} \quad (1)$$

где Q_{int} – средний за i -е сутки расход тепловой энергии на отопление здания, кДж/сут (табл. 1); v – коэффициент, учи-

тывающий способность ограждающих конструкций аккумулировать или отдавать теплоту (по СНиП 23–02–2003 $v=0,8$); ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления (по СНиП 23–02–2003 $\zeta=1$); Q_{ht}^i – средние бытовые тепловыделения, кДж/сут; Q_s – средние теплопоступления в здание от солнечной радиации, кДж/сут; $\Delta\tau = 24$ ч/сут.

В формуле (1) средние бытовые тепловыделения складываются из тепловыделений от бытовых приборов квартир и тепловыделений от людей, одновременно находящихся в здании ($Q_{int} = 1,161 \cdot 10^7$ кДж/сут). Тепловыделения от бытовых приборов квартир $Q_{iht1} = 8,554 \cdot 10^6$ кДж/сут определены на основании фактического расхода электрической энергии (табл. 2) с пересчетом в кДж/сут. Тепловыделения от людей $Q_{iht2} = 3,059 \cdot 10^6$ кДж/сут определены из расчета фактического заселения квартир $\eta_f = 0,65$, тепловыделений одного взрослого человека $Q_{m1} = 419$ кДж/(ч·чел), среднего числа людей, проживающих в одной квартире, $N_m = 2$ (согласно экспертной оценке), общего числа квартир в доме $N_f = 234$.

Средние теплопоступления в здание от солнечной радиации $Q_s = 7,948 \cdot 10^6$ кДж/сут определены по методике [9] на основе статистической обработки многолетних климатических данных по суммарной солнечной радиации при средних условиях облачности методом наименьших квадратов конечными рядами Фурье.

Принимая за факторную переменную $\Delta t_i = t_{int}^i - t_{ext}^i$ и за результативную переменную Q_h^i , на основе статистической обработки данных по малому объему выборки ($N = 14$) получим математическую модель $Q_h(\Delta t)$ в виде уравнения линейной регрессии:

$$Q_h = a(t_{int} - t_{ext}), \quad (2)$$

где $a = 3,265 \cdot 10^4$ Вт/°С.

Полученный коэффициент корреляции $r = 0,962$ свидетельствует о весьма тесной связи между факторной и результативной переменной по шкале Чэддока. При этом относительные ошибки на узлах колеблются от -4,9 до 4,3% при допустимом значении $\pm 10\%$. Таким образом, построенная математическая модель в целом адекватна, и выводы, полученные по результатам малой выборки, можно с веро-

Таблица 2

Результаты измерений расхода электрической энергии здания

Потребитель электрической энергии	Фактический расход электрической энергии, кВт·ч/мес			
	по секциям			общий
	1	2	3	
Квартиры	21396	25698	26568	73662
Лифты	3156	3249	3096	9501
Искусственное освещение в местах общего пользования	632	490	65	1187
Паркинг				3540
Подвал				842
Насосная				594
Индивидуальный тепловой пункт (ИТП)				4545
Потери				100
Итого				93971

ятность 0,95 распространить на всю гипотетическую генеральную совокупность.

Расход тепловой энергии на отопление здания за расчетный отопительный период Q_{ht}^y , кДж/год, определяется по формуле:

$$Q_{ht}^y = 86,4aM_{ht} - \beta_h v \zeta (Q_{int} + Q_s) z_{ht}, \quad (3)$$

где M_{ht} – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год, определяемые по формуле:

$$M_{ht} = (t_{int}^{des} - t_{ht}) z_{ht}, \quad (4)$$

где $t_{int}^{des} = 20^\circ\text{C}$ – расчетная температура внутреннего воздуха; $t_{ht} = -2,4^\circ\text{C}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период; $z_{ht} = 177$ сут/год – продолжительность отопительного периода; β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления (по СНиП 23–02–2003 $\beta_h = 1,07$).

Расчет по формуле (3) дает $Q_{ht}^y = 8,22 \cdot 10^9$ кДж/год.

Фактический удельный расход тепловой энергии q_h , МДж/(м³·год), на отопление здания за расчетный отопительный период определяется по формуле:

$$q_h = \frac{10^{-3} Q_{ht}^y}{V_h}, \quad (5)$$

где V_h – отапливаемый объем здания по проекту.

Фактический удельный расход тепловой энергии на горячее водоснабжение за расчетный отопительный период q_{hw} , МДж/(м³·год), определяется по формуле:

$$q_{hw} = \frac{10^{-3} Q_{hw}^m z_{ht}}{V_h}, \quad (6)$$

где Q_{hw}^m – средний суточный расход тепловой энергии на горячее водоснабжение, определяемый по результатам измерений (табл. 1).

Фактический удельный расход электрической энергии за расчетный отопительный период q_e , МДж/(м³·год), определяется по формуле:

$$q_e = \frac{10^{-3} Q_e^m z_{ht}}{V_h}, \quad (7)$$

где Q_e^m – средний суточный расход электрической энергии, кДж/сут, определяемый по результатам измерений (табл. 2).

Результаты определения энергетических показателей здания за отопительный период приведены в табл. 3.

Анализ представленной в табл. 3 структуры энергозатрат показывает, что наибольший вес в энергопотреблении здания имеет отопление. По мере заселения дома следует ожидать рост энергопотребления на горячее водоснабжение и электроснабжение.

В нормативных документах оценка энергоэффективности зданий производится по величине отклонения фактического значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от нормируемого. Согласно табл. 9 СНиП 23–02–2003 нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление здания $q_{ht}^{red} = 25$ кДж/(м³·°С·сут), что в пересчете на заданные климатические условия (при $M_{ht} = 3965$ °С·сут/год) дает $q_{ht}^{red} = 99,1$ МДж/(м³·год). Отклонение фактического значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от нормируемого -4,7%. Со-

Таблица 3
Фактические удельные энергетические показатели здания

Показатель	Обозначение показателя	Значение показателя	
		МДж/(м ³ ·год)	%
Расход тепловой энергии на отопление здания	q_h	94,5	64,8
Расход тепловой энергии на горячее водоснабжение	q_{hw}	29,2	20
Расход электрической энергии	q_e	22,2	15,2
Итого	q	146	100

Таблица 4
Сравнение расчетных и фактических удельных энергетических показателей здания

Показатель	Значение показателя, МДж/(м ³ ·год)		Отклонение расчетного значения показателя от фактического, %
	фактическое	расчетное	
Расход тепловой энергии на отопление здания	94,5	92,4	-2,2
Расход тепловой энергии на горячее водоснабжение	29,2	27,3	-6,5
Расход электрической энергии	22,2	24,1	+8,6
Итого	146	144	-1,4

гласно п. 4.5 СНиП 23–02–2003 **класс энергоэффективности здания – С (нормальный)**. Таким образом, по результатам энергоаудита установлено, что обследованное здание соответствует нормативному требованию.

Полученные результаты измерений использованы для тестирования методики расчета энергетических показателей здания [7–9]. Расчет выполнен по компьютерной программе «ЭНПАС» [10] при следующих исходных данных:

- расчетная температура внутреннего воздуха $t_{int}^{des} = 20^\circ\text{C}$;
- средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{ht} = -2,4^\circ\text{C}$;
- продолжительность отопительного периода $z_{ht} = 177$ сут/год;
- градусо-сутки отопительного периода $M_{ht} = 3965$ °С·сут/год;
- отапливаемый объем здания $V_h = 87000$ м³;
- средняя кратность воздухообмена в рабочее время $U_{ven} = 0,7$ ч⁻¹;
- удельные внутренние бытовые тепловыделения в здании $q_{int} = 23,6$ МДж/(м³·год);
- удельные теплопоступления в здание за счет солнечной радиации $q_s = 16,2$ МДж/(м³·год);
- норма расхода горячей воды в средние сутки $q_{hwo} = 115$ л/(сут·ед. изм.);
- удельная расчетная электрическая нагрузка $q_{eo} = 0,7$ кВт/(ед. изм.);
- число потребителей горячей воды $N_{hw} = 560$ ед. изм.;
- число потребителей электрической энергии $N_e = 560$ ед. изм.;
- коэффициенты [9] $k_R = k_{ven} = k_{hw} = 1$; $k_e = 0,35$; $\eta = 0,8$.

В расчете использованы проектные значения площади A_p , м², и приведенного сопротивления теплопередаче R_{hi}^{des} , м²·°С/Вт для наружных ограждающих конструкций:

- наружных стен – $A_1 = 14274$; $R_{h1}^{des} = 2,36$;

Таблица 5
Результаты расчета удельных энергетических показателей здания

Наименование показателя	Значение показателя, МДж/(м ³ ·год), по вариантам расчета	
	1	2
Теплопотери через оболочку здания	50,6	50,6
Теплопотери за счет вентиляции и инфильтрации воздуха	73,6	42,1
Внутренние бытовые тепlopоступления	23,6	23,6
Тепlopоступления за счет солнечной радиации	16,2	16,2
Расход тепловой энергии на отопление здания	92,4	60,8
Расход тепловой энергии на горячее водоснабжение	27,3	27,3
Расход электрической энергии	24,1	24,1
Расход тепловой и электрической энергии	144	112

- окон и балконных дверей – $A_2 = 2979$; $R_{h2}^{des} = 0,51$;
- наружных дверей в лестнично-лифтовых узлах – $A_3 = 26,6$; $R_{h3}^{des} = 0,54$;
- покрытия – $A_4 = 1093$; $R_{h4}^{des} = 3,61$;
- перекрытий над подвалом – $A_5 = 940$; $R_{h5}^{des} = 1,55$;
- перекрытий под эркерами – $A_6 = 32$; $R_{h6}^{des} = 3,37$.
- приведенное сопротивление теплопередаче оболочки здания $R_{he}^{des} = 1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Результаты сравнения расчетных и фактических значений энергетических показателей здания за отопительный период приведены в табл. 4.

Анализ полученных результатов энергоаудита показывает (табл. 4), что расчетные значения энергетических показателей, полученных по методике, разработанной автором, хорошо согласуются с фактическими.

Анализ структуры тепlopотерь через оболочку здания, полученной расчетом по компьютерной программе [10], показывает, что наибольшие тепlopотери происходят вследствие инфильтрации воздуха. Они превышают даже трансмиссионные тепlopотери, что объясняется повышенной воздухопроницаемостью светопрозрачных ограждающих конструкций и наружных дверей. Поэтому повысить энергоэффективность здания можно прежде всего за счет снижения инфильтрационных тепlopотерь. В табл. 5 приведены результаты расчета удельных энергетических показателей здания за отопительный период по двум вариантам: 1) при $u_{ven1} = 0,7 \text{ ч}^{-1}$; 2) $u_{ven2} = 0,4 \text{ ч}^{-1}$.

Анализ данных табл. 5 показывает, что уменьшение кратности воздухообмена (вариант 2) за счет уплотнения притворов ограждающих конструкций снижает инфильтрационные тепlopотери на 42,8%; расход тепловой энергии на отопление здания на 34,2%; общий расход энергии на эксплуатацию здания на 22,2%. Это позволит **повысить энергоэффективность здания до класса В**.

Полученные результаты энергоаудита включены в энергетический паспорт здания и использованы для обоснования его энергоэффективности.

Список литературы

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // Вестник МГСУ. 2011. № 3. Т. 1 С. 192–200.

2. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: АСВ, 2009. 296 с.

3. Валанчюс К., Паулаускайте С., Вайчайтис А. Анализ детального энергетического аудита зданий университета // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 50–58.

4. Tenpieric M., Van der Spoel W., Cauberg H. An Analytical Model for Calculating Thermal Bridge Effects in High Performance Building Enclosure // Journal of Building Physics. 2008. 31. P. 361–387.

5. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation // Building and Environment. 2012. Vol. 47. P. 13–22.

6. Alajmi A. Energy audit of an educational building in a hot summer climate // Energy and Buildings. 2012. Vol. 47. P. 122–130.

7. Корниенко С.В. Снижение тепlopотерь за счет совершенствования краевых зон ограждающих конструкций // Жилищное строительство. 2010. № 3. С. 31–32.

8. Корниенко С.В. Оценка энергоэффективности с учетом влияния краевых зон ограждающих конструкций на тепlopотери здания // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 167–173.

9. Корниенко С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения тепlopотерь в краевых зонах ограждающих конструкций / Научное издание. Волгоград: ВолгАСУ, 2011. 108 с. (ISBN 978–5–98276–420–1).

10. Корниенко С.В. Энергетический паспорт здания (ЭНПАС) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610351 от 10.01.2012 г.

3 - 5 октября

САРАТОВ ДВОРЕЦ СПОРТА

13-я специализированная выставка с международным участием

СИТИСТРОЙЭКСПО. 2012

Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Саратовской области

Министерство транспорта и дорожного хозяйства Саратовской области

ГАО «Агентство энергосбережения» Саратовской области
Саратовский государственный технический университет

Выставочный Центр «СОФИТ-ЭКСПО»
тел.: (8452) 206-926
http://expo.soft.ru

УДК 681.511.2

О.Д. САМАРИН, канд. техн. наук; Е.А. ГРИШНЕВА, инженер (vlada_ok@inbox.ru)
«Московский государственный строительный университет»

Технико-экономическая оценка системы управления интеллектуальным зданием

Рассмотрены основные функции системы управления инженерным оборудованием «интеллектуального дома». Дана оценка технико-экономических показателей и расчет срока окупаемости переоборудования в «интеллектуальный дом» жилого здания.

Ключевые слова: интеллектуальный дом, система управления, инженерное оборудование, совокупные дисконтированные затраты, срок окупаемости.

Актуальность проблемы оптимального управления инженерными системами здания с целью минимизации его энергопотребления в настоящее время становится особенно значительной в связи с принятием Закона РФ № 261-ФЗ [1]. При этом существует понятие «интеллектуальное здание» — это либо крупное коммерческое здание, либо офисный или торговый центр. В то же время используется и термин «интеллектуальный дом», предназначенный для частного заказчика — это либо загородный коттедж, либо квартира.

Два упомянутых подхода к управлению объектами отличаются прежде всего своими задачами. В проектах по созданию «интеллектуального коммерческого здания» на первый план выходит обеспечение экономии энергоресурсов, простота и удобство обслуживания, соответствие требованиям безопасности, организация охраны и доступа в здание и т. д.

В настоящее время тенденции в области «интеллектуального дома» таковы: во-первых, практически все частные клиенты к настоящему моменту хотя бы слышали о существовании подобного рода объектов. Многие из заказчиков даже знакомы с заложенными в это понятие основными идеями.

Безусловный лидер по уровню популярности, по частоте запросов клиентов, по доле их затрат в общих расходах на инженерное оборудование здания — это система управления освещением. В нее входят средства управления источниками света внутри дома и наружное ландшафтное освещение с датчиками освещенности, а также обеспечение необходимых световых сценариев, что представляет собой основу «интеллектуального освещения».

Второе по популярности технологическое направление «интеллектуального дома» — это система климат-контроля. Она позволяет пользователю задавать независимую температуру в каждом из помещений такого здания. При этом система сама решает, на какую мощность и какое устройство (вентиляционные установки, фан-койлы, сплит-системы, системы напольного отопления) включить и в какой момент.

Постоянным спросом пользуется также собственная система визуализации или сенсорные панели управления, которые представляют собой плоские дисплеи, на которых в

интуитивно понятной форме отображается то, что происходит в здании. Это очень удобное средство связи пользователя с объектом. Особенно это важно, поскольку в совре-

Таблица 1

Показатель	Ед. изм.	Значение	Источник
Электропотребление здания	МВт·ч/г.	54	[3]
Снижение электропотребления	%	30	[4]
Снижение электропотребления	МВт·ч/г.	16.2	
Тариф на электроэнергию	р./(кВт·ч)	2.66 ¹⁾	ОАО «Мосэнерго-сбыт», 2011 г.
Снижение расходов на электроэнергию	р./г.	43092	
Потребление тепловой энергии	МВт·ч/г.	1566	[3]
Снижение теплопотребления	%	20	[4]
Снижение теплопотребления	МВт·ч/г.	313.2	
Снижение теплопотребления	Гкал/г.	269.4	
Тариф на тепловую энергию	р./Гкал	1325.7	ОАО «МОЭК», 2011 г.
Снижение расходов на тепловую энергию	р./г.	357144	
Общее снижение эксплуатационных затрат ΔЭ	р./г.	400236	
Отапливаемая площадь	м ²	4352	[3]
Дополнительные капитальные затраты ΔК	USD/м ²	20 ²⁾	[4]
Дополнительные капитальные затраты ΔК	р./м ²	600 ³⁾	
Дополнительные капитальные затраты ΔК	р.	2611200	
Бездисконтный срок окупаемости T ₀ = ΔК/ΔЭ	г.	6.52	[5], [7]
Примечания: ¹⁾ для дома с электроплитами, 2011 г.; ²⁾ среднее значение; ³⁾ при курсе 30 р./USD;			

Таблица 2

Зависимость СДЗ, млн р., от Т для сравниваемых вариантов

Т, г.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СДЗ ₁	2,61	2,82	3,05	3,29	3,55	3,84	4,14	4,48	4,83	5,64
СДЗ ₂	0	0,4	0,83	1,3	1,8	2,35	2,94	3,57	4,26	5,8

менном «интеллектуальном доме» имеется значительное количество разнообразного инженерного оборудования, и клиент вправе иметь доступную информацию о том, все ли оно работает в штатном режиме.

Аналогичные технологии, но применительно к условиям промышленного производства отделочных материалов, рассматривались и за рубежом в работе [2].

Иначе говоря, «интеллектуальный дом» — это, по сути, комплекс электронных технических средств автоматизации, который управляет инженерными системами и обеспечивает необходимую комфортность внутреннего микроклимата и соответствующую аудиовидеосреду. В идеале речь здесь идет об управлении всеми системами, которые имеются в данном доме, в том числе освещением, отоплением, вентиляцией, кондиционированием воздуха, тепло- и водоснабжением, электроприводами и т. д., и даже устройствами, предназначенными для развлекательных целей, например, многозонными аудио- и видеосистемами (мультирум) или домашним кинотеатром. При этом достигаются следующие основные результаты:

- во-первых, пользователь получает единый пульт для управления всем оборудованием;
- во-вторых, различные подсистемы «интеллектуального дома» при этом начинают работать согласованно. Например, система кондиционирования воздуха не будет работать при открытых окнах, а наружное освещение включится только при проникновении во двор посторонних лиц;
- в-третьих, инженерное оборудование «интеллектуального дома» начинает работать самостоятельно. В частности, радиаторы, системы напольного отопления, сплит-системы и фан-койлы сами устанавливаются на необходимую мощность для поддержания оптимальной температуры в помещениях, а дежурное освещение во дворе будет в необходимый момент включаться вечером и отключаться утром тоже без непосредственного воздействия пользователя;
- в-четвертых, появляется понятие «сценарий», когда в результате нажатия единственной кнопки происходит любой заданный набор действий в доме. Например, при выходе пользователя из здания одновременно отключится освещение и водоснабжение, а климатическое оборудование будет функционировать в экономичном режиме. В результате одновременно обеспечивается комфорт, безопасность и экономия энергии.

Вообще говоря, все вышеперечисленное в полной мере относится в первую очередь к индивидуальным или малоквартирным жилым зданиям, особенно при условии автономного теплоснабжения. Однако в принципе можно себе представить и вариант, когда рассматриваемые мероприятия осуществляются и в многоквартирном доме. В табл. 1 приведена оценка технико-экономических показателей и

определение расчетного срока окупаемости дополнительных технических средств при переоборудовании типового жилого дома по серии ПЗ-1/16 в «интеллектуальный дом».

Для наглядности в табл. 2 представлены значения совокупных дисконтированных затрат СДЗ в зависимости от промежутка времени Т с момента ввода здания в эксплуатацию, вычисленных по методике [5] – [7] при норме дисконта $p = 8\%$ годовых (ставка рефинансирования ЦБ РФ). Вариант СДЗ₁ соответствует результатам расчетов для «интеллектуального дома», вариант СДЗ₂ – для здания со стандартным инженерным оборудованием. Видно, что, начиная примерно с $T = 10$ лет СДЗ₂ оказывается уже выше, чем СДЗ₁.

Более точно расчетный дисконтированный срок окупаемости дополнительных капитальных затрат $T_{ок}$ определяется через T_0 и параметр p по формуле [5] – [7]:

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1 - pT_0/100)}{\ln(1 + p/100)} = \frac{-\ln(1 - 8 \cdot 6,52/100)}{\ln(1 + 8/100)} = 9,59 \text{ г.}$$

Таким образом, величина $T_{ок}$ действительно не превышает 10 лет, что существенно меньше проектного периода эксплуатации устанавливаемых устройств управления инженерными системами, тем более здания в целом, что свидетельствует об экономической целесообразности предлагаемых решений даже в условиях нестабильной рыночной экономики.

Список литературы

1. Закон РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г.
2. *Kapliński O.* Information technology in the development of the polish construction industry // Technological and economic development of economy. 2009. № 15 (3), P. 437–452.
3. *Самарин О.Д.* Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: Изд-во АСВ, 2009. 296 с.
4. *Harke W.* Smart Home. Vernetzung von Haustechnik und Kommunikationssystemen im Wohnungsbau. – Heidelberg: C.F. Müller Verlag, 2004. 288 p.
5. *Дмитриев А.Н., Табунщиков Ю.А., Ковалев И.Н., Шилкин Н.В.* Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. 120 с.
6. *Гагарин В.Г.* Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 8–16.
7. *Самарин О.Д.* Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. М.: Изд-во АСВ, 2011. 128 с.

УДК 692.23

*Н.П. УМНЯКОВА, канд. техн. наук, зам. директора по научной работе
НИИСФ РААСН (Москва)*

Прообразы конструкций вентилируемых фасадов в зданиях Древней Руси

В статье рассмотрены конструкции рубленых наружных стен с деревянной обшивкой из досок и вентилируемой воздушной прослойкой, которые явились прообразами современных систем вентилируемых фасадов, получивших широкое распространение в мире. Благодаря деревянной обшивке бревенчатых стен увеличивалась их долговечность, а также повышался уровень тепловой защиты. Проведенный анализ старинной документации показал, что вопросами обеспечения необходимой тепловой изоляции ограждений в России занимались на протяжении многих веков.

Ключевые слова: наружные рубленые стены, вентилируемая воздушная прослойка, деревянная обшивка, сруб, Урочное положение, припазовка, температурное поле.

Прообразы современных вентилируемых фасадов существовали на Руси еще в XVII веке. Так, о них упоминается при воссоздании сооружений дворца царя Алексея Михайловича на территории Коломенского государственного музея-заповедника. Построенный более трех веков назад, дворец (рис. 1) производил столь сильное впечатление, что современники, посещавшие его, говорили о нем как о восьмом чуде света (первые семь чудес света – пирамида Хеопса, висячие сады Семирамиды, храм Артемиды в Эфесе, статуя Зевса в Олимпии, мавзолей в Галикарнасе, Колос Родосский, Александрийский маяк) [1]. Восстановленный в настоящее время дворец представляет прекрасный пример сочетания уникального ландшафта и русской средневековой дворцовой усадьбы.

Научные сотрудники музея в сохранившейся архивной и проектной документации обнаружили, что у части де-

ревянных стен снаружи по вертикали расположены бруски, которые были обшиты досками с вентилируемой воздушной прослойкой. Такая конструкция наружной стены способствовала созданию благоприятного температурно-влажностного режима и защищала деревянные элементы сруба от увлажнения осадками и, как следствие, от гниения, а также от воздействия солнечных лучей.

Можно предположить, что такие конструкции применялись и ранее на территории Руси, и особенно при строительстве церквей, дворцов и других значимых зданий.

Аналогичные конструкции наружных стен были обнаружены в Орле в квартале дореволюционной застройки «Дворянское гнездо». В нем наружные стены выполнены из бревен с обшивкой досками по брускам и вентилируемой воздушной прослойкой.

В настоящее время достаточно много таких домов сохранилось в г. Переславле-Залесском (Московская обл.). На рис. 2 – деревянный одноэтажный дом с обшивкой из досок. На рис. 3 – недавно пострадавший от пожара дом, в котором остался целиком обгоревший деревянный сруб и отчетливо видны обгоревшие деревянные вертикальные бруски. До пожара по ним была установлена обшивка на отnose из деревянных досок.

Много одноэтажных деревянных зданий с обшивкой на отnose из досок и вентилируемой воздушной прослойкой (рис. 4) сохранились в г. Сергиев Посад (Московская обл.).

В двухэтажных домах стены первого этажа, как правило, были выполнены из кирпича, а второй этаж из бревен с обшивкой по брускам деревянными досками и вентилируемой воздушной прослойкой.



Рис. 1. Вид дворца царя Алексея Михайловича. Копия с гравюры 1763 г.



Рис. 2. Деревянный дом, г. Переславль-Залеский



Рис. 3. Фрагмент обгоревшего дома



Рис. 4. Деревянный одноэтажный дом, г. Сергиев Посад

Позднее эти конструкционные решения наружных стен нашли отражение в строительных нормативных документах в конце XIX в. В 1894 г. инженер-архитектор граф Н.И. де-Рошефор издает Урочное положение. Впоследствии оно было одобрено Техническо-строительным комитетом Министерства внутренних дел и Министерством путей сообщения и являлось официальным нормативным документом, который рекомендовался как пособие при составлении и проверке смет, проектировании и исполнении строительных работ, но и «вообще как материал полезней при изучении Строительного Искусства».

В нем в главе «Деревянные части здания» рекомендуется при возведении сруба из деревянных бревен для его сохранения от непогоды с наружной стороны по деревянным вертикальным брускам устраивать из досок обшивку с вентилируемой воздушной прослойкой (далее по тексту автор старался сохранить текст Урочного положения, включая терминологию, название единиц измерения и схемы ограждающих конструкций).

Рекомендовалось обратить особое внимание на то, что при возведении бревенчатых стен давались указания, какую толщину бревен надо использовать для исключения их промерзания. При рубке стен в лапу должна соблюдаться плотность припазовки (ширина паза для пакли) и притеска комлей с прокладкой паклей. Паклю можно было заменять мхом, что делалось достаточно часто. Последний благодаря своим дезинфицирующим свойствам использовался в западных и северных районах. Его называли растительным волокном.

Критическим местом для деревянных стен из бревен является ее припазовка. Чтобы стены не промерза-

ли (рис. 5), припазовка должна быть шириной 3,66 вершка (16 см), а это возможно только при шестивершковых бревнах (27 см). С бревнами от 4,5 до 5 вершков (20 до 22 см) припазовка выходит в 2 вершка (9 см) – такая стена в северной полосе промерзает. При нормальной припазовке на 1 сажень (213,4 см) по высоте стены укладывалось с паклей 9 венцов.

Особое внимание обращалось на осадку стены в первый год постройки. Рекомендовалось, чтобы осадка при сухом лесе составляла 1/80 высоты, при летнем – 1/24 высоты и при водяном (сплавляемом) – 1/20 высоты.

С наружной стороны деревянные бревенчатые стены обшивались стругаными досками: со скошенной кромкой или в обшивку по пробоинам (вертикальным брускам или бревнам) с перевязкой их на части и пристужкой.

При обшивке досок в рустик производилась выемка четверти с установкой досок в одну скобу с отборкой кромки (рис. 6).

Для создания вентилируемой воздушной прослойки в бревнах сруба делали разметку и вырубку. Затем бревна в 4–5 вершков (17,7–22,2 см) с разметкой и вырубкой или бруски толщиной 2,5 дюйма (6,35 см) прибивались вертикально гвоздями к срубам. Если стены рубятся в угол, прибоины делают из бревен, в результате образуется вентилируемая воздушная прослойка толщиной 18–20 см (рис. 7, а); когда в лапу, прибоины нарезают из брусков и толщина вентилируемой воздушной прослойки составляет 6 см (рис. 7, б) (в современных конструкциях вентфасадов проектная толщина вентилируемой воздушной прослойки составляет 6 см). Расстояние между прибоинами 1,5 арш. (1,06 м).

Доски для обшивки должны быть стругаными и по возможности узкими, чтобы меньше корбились. Обшивку деревянных стен следует производить не ранее окончательной осадки здания, которая длится от года до двух лет (рис. 8). Преждевременная обшивка, сделанная даже только частично (цоколь, под карнизом), настолько препятствует осадке, что такие дома, несмотря на внутреннюю штукатурку и хорошие печи, бывают холодными. Для большей долговечности стен и сохранения тепла деревянные срубы уже в прошлых веках под обшивкой обшивали берестой. Однако из-за щелей в местах сопряжения между досками воздухопроницаемость обшивки достаточно большая. К.Ф. Фокиным [2] для тесовой обшивки из досок толщиной 20–25 мм получены следующие данные по воздухопроницаемости: для обрезных досок впритык 12,4 кг/(м²·ч·Па); обрезных досок в четверть 8,2 кг/(м²·ч·Па) и шпунтованных досок 0,71 кг/(м²·ч·Па).

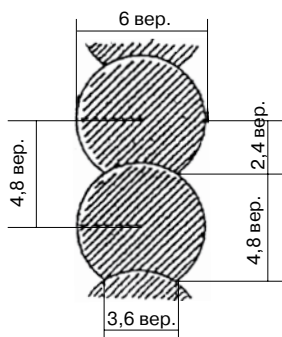


Рис. 5. Нормальная припазовка при шестивершковых бревнах

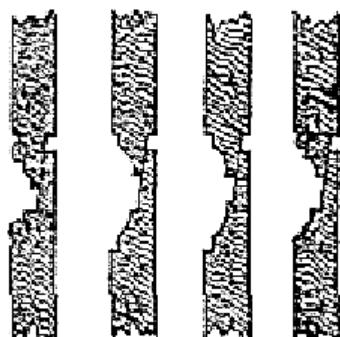


Рис. 6. Обшивка сруба в рустик

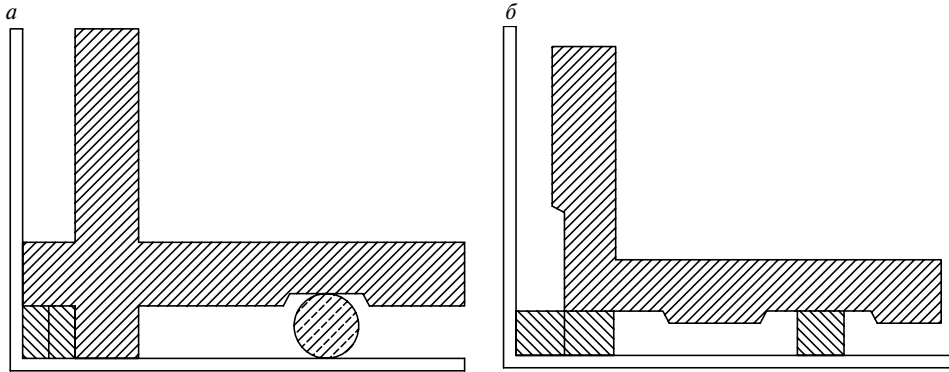


Рис. 7. Устройство деревянной обшивки с воздушной прослойкой на стенах сруба: а – по деревянным бревнам; б – по деревянным брускам

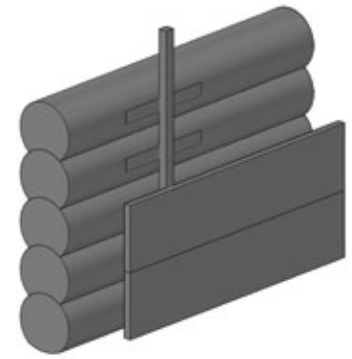


Рис. 8. Обшивка деревянных рубленых стен

Таким образом, воздушная прослойка в конструкции сруба с обшивкой досками по деревянным брускам является вентилируемой.

При рубке наружной стены из бревна в чашу (с остатком) выступающий конец в наружном углу должны быть 1,5 диаметра бревна, т. е. для 6 вершин (26,6 см). В этом случае воздушная вентилируемая прослойка имеет толщину 18–20 см.

Рубка в лапу предпочтительна для жилых домов, потому что представляет некоторое сбережение на длине бревна и на толщине косяков и прибоин обшивки. Но наружные углы в этой рубке не так защищены от промерзания, как при рубке в чашу. Такие срубы из пятивершковых бревен (22,2 см) необходимо внутри штукатурить с подбавкой войлоком под наружные углы. С другой стороны, при рубке в лапу углы здания обшиваются снаружи досками в виде пилястр, защищают от действия непогоды, тогда как при рубке с остатком выступающие концы бревен скоро гниют.

При расчете температурных полей ограждающих конструкций вентилируемой воздушной прослойки ее теплотехнические характеристики, а следовательно, и обшивки не учитываются. По исследованиям, проведенным в [3], термическое сопротивление воздушных вентилируемых прослоек может изменяться от 0,09 до 0,2 м²·°C/Вт. В связи с этим предлагается при расчете температурных полей стеновых конструкций теплозащиту воздушных вентилируемых прослоек определять по условному коэффициенту теплопроводности воздуха $\lambda_{\text{усл.воз.пр}}$ по следующей формуле:

$$\lambda_{\text{усл.воз.пр}} = (2\alpha_{\text{к.воз.пр}} + \alpha_{\text{л.воз.пр}})\delta, \quad (1)$$

где $2\alpha_{\text{к.воз.пр}} + \alpha_{\text{л.воз.пр}}$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением, Вт/(м²·°C). Эти величины определяются по формулам, приведенным в [4]; δ – толщина вентилируемой воздушной прослойки, м.

Будем считать, что условный коэффициент теплопроводности воздуха в воздушной вентилируемой прослойке соответствует законам передачи теплоты в твердом теле.

При проверке расчета $\alpha_{\text{к.воз.пр}}$ для воздушных вентилируемых прослоек толщиной 4 и 18 см в конструкциях срубов, выполненных в чашу и в лапу, приняты следующие параметры: температура наружного воздуха $t_{\text{н}} = -26^{\circ}\text{C}$; температура внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}$; кинематическая скорость воздуха $\nu = 11,12 \text{ м}^2/\text{с}$; скорость ветра $V_{\text{в}} = 5,2 \text{ м/с}$; коэффициент теплопроводности воздуха $\lambda_{\text{воз}} = 0,024 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$.

При расчете $\alpha_{\text{л.воз.пр}}$ для воздушных вентилируемых прослоек, имеющих с течением времени посеревшие поверхности, коэффициент излучения древесины был принят $4,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}^4)$, коэффициент излучения абсолютно черного тела – $5,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{K}^4)$.

В результате выполненных расчетов получено: величина условного коэффициента воздуха в воздушной вентилируемой прослойке толщиной 4 см составляет $\lambda_{\text{воз}} = 0,44 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$; толщиной 18 см – $\lambda_{\text{воз}} = 1,8 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$.

Разница в значениях объясняется тем, что для воздушной вентилируемой прослойки толщиной 4 см критерий Рейнольдса равен $Re=4974,4$, что соответствует переходному режиму движения воздуха, а при $Re=22366,8$ происходит турбулентный режим.

Конструкция такой бревенчатой стены с обшивкой из досок по брускам приведена на рис. 2.

Расчетные теплофизические величины: коэффициент теплопроводности ели, сосны ($\gamma=560 \text{ кг}/\text{м}^3$) поперек волокон

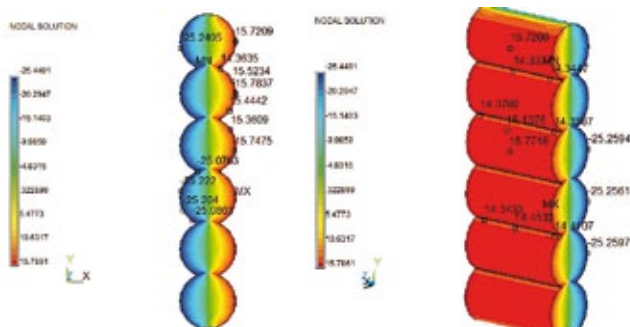


Рис. 9. Температурное поле рубленой стены без обшивки

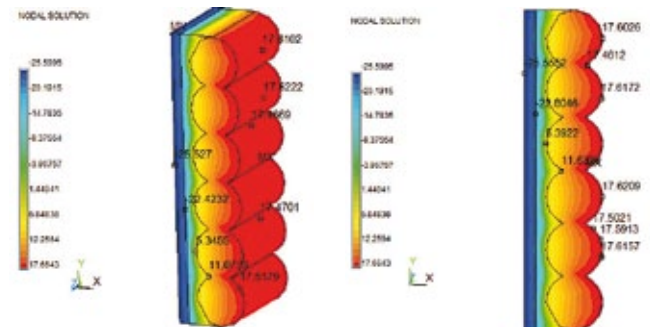


Рис. 10. Температурное поле рубленой стены с обшивкой

в наружных ограждениях 0,15 кКал/(м·ч·°С) (0,167 Вт/(м·°С) и во внутренних ограждениях из ели или сосны ($\gamma=500$ кг/м³) – 0,12 кКал/(м·ч·°С). В существующих нормах коэффициент теплопроводности ели или сосны для условий А составляет 0,17 Вт/(м·°С) и для условий Б – 0,14 Вт/(м·°С); пакли ($\gamma=150$ кг/м³) – 0,069 Вт/(м·°С); коэффициент теплопроводности растительного мха 0,065 Вт/(м·°С). Как видно, коэффициент теплопроводности пакли и растительного мха не отличаются друг от друга.

Для расчета температурных полей конструкций были приняты бревенчатые стены толщиной 26 см без обшивки досками, а также бревенчатые стены с обшивкой досками толщиной 2,5 см и вентилируемой воздушной прослойкой. Расчет трехмерных температурных полей проводился в программе ANSYS. При температуре наружного воздуха -28°С и внутреннего +20°С при отсутствии обшивки температура на внутренней поверхности стены опускается до 14,34°С и колеблется в диапазоне до 15,78°С (рис. 9); при наличии обшивки температура на внутренней поверхности сруба увеличивается до 17,46°С (рис. 10). Как видно, конструкция стены с дощатой обшивкой способствовала не только повышению температуры поверхности более чем на 3°С, но позволяла снизить тепловые потери через стену и уменьшить расход дров, идущих на отопление здания. Кроме того, дощатая обшивка защищала бревна от воздействий солнца, осадков и способствовала увеличению срока службы стен.

Таким образом, проведенная работа показала, что принципы теплотехнического нормирования наружных ограждений, в том числе стен, в России существовали уже в XIX в. Для увеличения теплоизоляционных качеств и защиты от продувания уже в XVII в. наружные стены с внешней стороны обшивались деревянными досками на откосе. Предложенные русскими зодчими конструктивные решения наружных стен с деревянной обшивкой явились прообразами современных конструкций навесных вентилируемых фасадов, получивших широкое распространение в настоящее время во всем мире.

Список литературы

1. Суздальев В.Е. Русское чудо. Царский дворец в Коломенском – шедевр русского деревянного зодчества второй половины XVII – первой четверти XVIII в. М.: Пенаты, 2005. С. 160.
2. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю.А. Табунщикова и В.Г. Гагарина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
3. Умнякова Н.П. Элементы навесных вентилируемых фасадов, определяющие их теплозащитные свойства. ACADEMIA. Архитектура и строительство. № 5. 2009. С. 372–380.



Министерство архитектуры и строительного комплекса РС(Я)
Министерство транспорта и дорожного хозяйства РС(Я)
Государственный комитет по инновационной политике и науке РС(Я)
ОАО «ЯкутПНИИС»
НП СРО «Северный проектировщик», НП СРО «Союз строителей Якутии»

Международная конференция «Современные инновационные технологии изысканий, проектирования и строительства в условиях Крайнего Севера»

7–10 августа 2012 г.

Якутск

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

- Техническое регулирование в строительстве на региональном уровне
- Новые технологии фундаментостроения в условиях меняющегося климата
 - Бетон для строительства в суровых климатических условиях
- Эффективные материалы, конструкции и технологии для малоэтажного строительства
- Энергоэффективность зданий и сооружений: современные системы, материалы, конструкции и технологии
 - Транспортное строительство: материалы, конструкции, технологии
 - Современные технологии изысканий, проектирования
- Технический надзор за строительством и строительный контроль

Адрес оргкомитета:

677000, г. Якутск, ул. Дзержинского, 20, ОАО «ЯкутПНИИС»
Тел./факс (4112) 45-22-95, (4112) 45-22-02, (4112) 45-21 -25
E-mail: Yarniis@mail.ru ; Потапова Лидия Петровна – polapovalp@mail.ru
Цеева Анастасия Николаевна – antseyeva@hotmail.com

УДК 697.137.5

*В.Н. КУПРИЯНОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН,
И.Ш. САФИН, М.Р. ШАМСУТДИНОВ, инженеры,
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Влияние конструкции ограждения на конденсацию парообразной влаги

Изменением соотношения между сопротивлением теплопередаче и паропроницанию по сечению ограждения можно понизить температуру начала конденсации парообразной влаги, а для некоторых климатических районов исключить совсем.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, теплопередача, паропроницаемость, конденсация.

Известно [1–4], что конденсация водяного пара наступает в тех сечениях ограждающей конструкции, где величина максимальной упругости водяного пара (E) будет равна значению его действительной упругости (e_i), т. е. $E_i = e_i$. Относительная влажность воздуха в порах материала при этом станет равна 100%.

Известно также, что распределение параметров E_i и e_i по сечению ограждения зависит от свойств ограждающих конструкций. Так, распределение E_i зависит от распределения температуры по сечению ограждения τ_i , которое в соответствии с формулой (1):

$$\tau_i = t_B - (t_B - t_H) \cdot \frac{\sum R_{Ti}}{R_{TO}} \quad (1)$$

определяется относительным изменением сопротивления теплопередаче по сечению ограждения $\sum R_{Ti}/R_{TO}$. Здесь $\sum R_{Ti}$ – сопротивление теплопередаче части ограждения от внутренней поверхности до сечения (i) плюс величина R_{TB} – сопротивление теплопередаче внутренней поверхности; R_{TO} – общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.

Распределение e_i по сечению ограждения в соответствии с формулой (2):

$$e_i = e_B - (e_B - e_H) \cdot \frac{\sum R_{Pi}}{R_{ПО}} \quad (2)$$

определяется относительным изменением сопротивления паропроницанию по сечению ограждения $\sum R_{Pi}/R_{ПО}$. Здесь $\sum R_{Pi}$ – сопротивление паропроницанию части ограждения от внутренней поверхности до сечения (i), а $R_{ПО}$ – общее сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции.

В соответствии с формулами (1) и (2) величины $\sum R_{Ti}/R_{TO}$ и $\sum R_{Pi}/R_{ПО}$ носят относительный характер, они могут изменяться от 0, когда формулы (1) и (2) характеризуют внутренний микроклимат t_B и e_B , и до 1, когда формулы (1) и (2) характеризуют параметры климата места строительства t_H и e_H .

В интервале [0; 1] соотношения между $\sum R_{Ti}/R_{TO}$ и $\sum R_{Pi}/R_{ПО}$ могут иметь различные сочетания, в соответ-

ствии с чем различными будут сочетания E_i и e_i по сечению ограждения. Конденсация парообразной влаги в этих ограждениях также будет различной.

Для анализа конденсации рассмотрим три условные ограждающие конструкции с различными соотношениями $\sum R_{Ti}/R_{TO}$ к $\sum R_{Pi}/R_{ПО}$ по сечению ограждения:

- с опережающим нарастанием $\sum R_{Ti}/R_{TO}$ по отношению к $\sum R_{Pi}/R_{ПО}$ (кривая 1, рис. 1);
- с равномерным нарастанием $\sum R_{Ti}/R_{TO}$ и $\sum R_{Pi}/R_{ПО}$ (кривая 2, рис. 1);
- с опережающим нарастанием $\sum R_{Pi}/R_{ПО}$ по отношению к $\sum R_{Ti}/R_{TO}$ (кривая 3, рис. 1).

Для анализа конденсации в полученных конструктивных решениях ограждений примем следующие значения параметров микроклимата и климата.

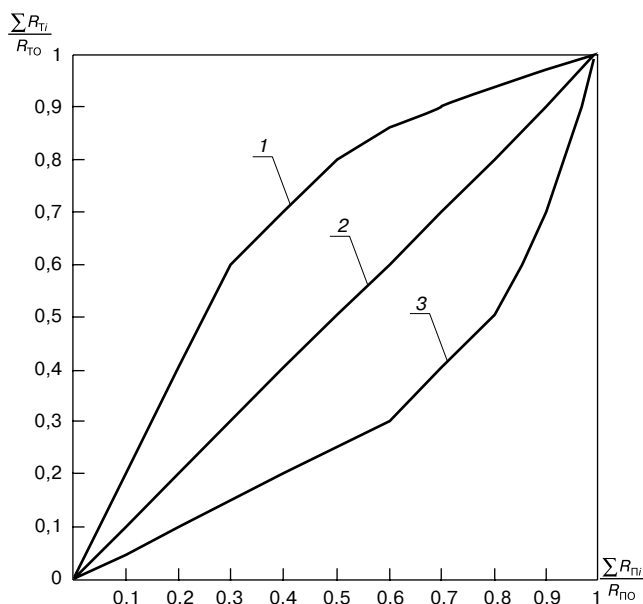


Рис. 1. Варианты сочетания относительных сопротивлений теплопередаче ($\sum R_{Ti}/R_{TO}$) и паропроницанию ($\sum R_{Pi}/R_{ПО}$) слоев по толщине ограждения

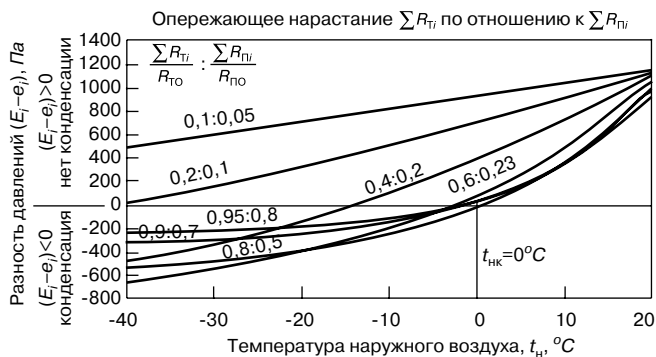


Рис. 2. Зависимость $(E_i - e_i)$ по сечениям ограждения от температуры наружного воздуха при опережении нарастания $\Sigma R_{Tn}/R_{To}$ по отношению к $\Sigma R_{Пn}/R_{По}$

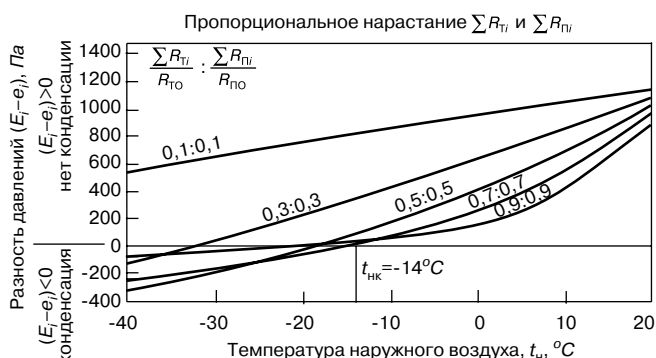


Рис. 3. Зависимость $(E_i - e_i)$ по сечениям ограждения от температуры наружного воздуха при пропорциональном нарастании $\Sigma R_{Tn}/R_{To}$ и $\Sigma R_{Пn}/R_{По}$

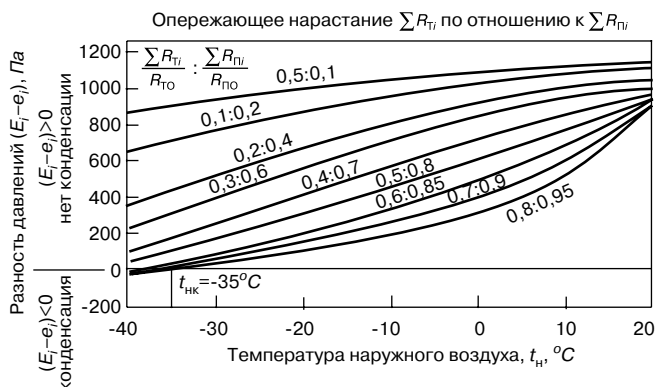


Рис. 4. Зависимость $(E_i - e_i)$ по сечениям ограждения от температуры наружного воздуха при опережении нарастания $\Sigma R_{Пn}/R_{По}$ по отношению к $\Sigma R_{Tn}/R_{To}$

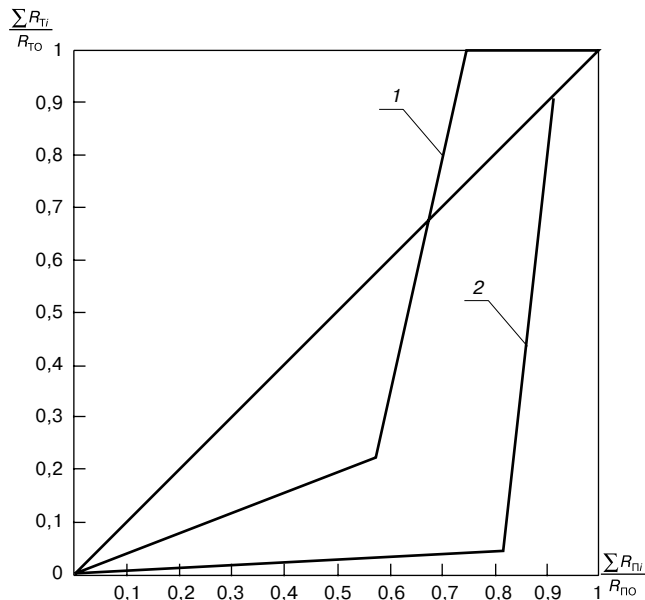


Рис. 5. Варианты сочетания относительных сопротивлений теплопередаче ($\Sigma R_{Tn}/R_{To}$) и паропроницанию ($\Sigma R_{Пn}/R_{По}$) слоев ограждения (кривая 1) и ограждения с измененными параметрами слоев (кривая 2)

Параметры микроклимата помещений в соответствии с требованиями нормативных документов могут быть приняты постоянными: $t_B = 20^\circ\text{C}$; $\Phi_B = 50\%$; $E_B = 2338 \text{ Па}$; $e_B = E_B \cdot \Phi_B / 100 = 1169 \text{ Па}$.

Параметры климата места строительства могут изменяться в широком диапазоне. Возможный диапазон значений t_n , E_n , Φ_n и e_n и варианты климатических условий представлены в таблице.

Метод построения зависимостей разности $(E_i - e_i)$ от температуры наружного воздуха (t_n) по различным сечениям ограждения опубликован в [5]. В соответствии с этим методом рассчитаны зависимости разности $(E_i - e_i)$ от t_n для каждого типа модельного ограждения.

Если в конструкции ограждения сопротивление теплопередаче нарастает интенсивнее, чем сопротивление паропроницанию (кривая 1, рис. 1), то конденсация парообразной влаги начинается при температуре наружного воздуха $t_n = 0^\circ\text{C}$ (рис. 2).

Если в конструкции ограждения сопротивления теплопередаче и паропроницанию нарастают пропорционально (кривая 2, рис. 1), то конденсация парообразной влаги начинается при температуре наружного воздуха $t_n = -14^\circ\text{C}$ (рис. 3).

При опережающем нарастании сопротивления паропроницанию (кривая 3, рис. 1) конденсация начинается при температуре наружного воздуха $t_n = -35^\circ\text{C}$ (рис. 4).

Из рис. 2–4 видно, что конденсация парообразной влаги начинается в слоях ограждения, ближайших к наружной по-

Наименование показателей	Варианты климатических условий										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$t_n, ^\circ\text{C}$	-40	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	20
$E_n, \text{Па}$	12	38	63	103	165	260	401	611	872	1228	2338
$\Phi_n, \%$	90	87	86	85	84	83	82	78	75	70	62
$e_n = (E_n \cdot \Phi_n) / 100, \text{Па}$	11	33	54	87	139	216	329	477	654	860	1450

верхности. Таким образом, формируя конструкцию ограждения, можно значительно понизить температуру начала конденсации, а для определенных климатических районов исключить совсем.

Для многослойных ограждающих конструкций выявленные закономерности сохраняются. В качестве иллюстрации рассмотрим следующую ограждающую конструкцию: многослойная наружная стена, состоящая из известково-песчаного раствора ($\delta=20$ мм), керамического эффективного кирпича ($\delta=250$ мм), монолитного пенобетона ($\delta=150$ мм) и керамического эффективного кирпича ($\delta=120$ мм). В целях экономии места в статье остальные параметры ограждения не приводятся, они имеются в СТО РОИС.

На рис. 5 приведены данные по соотношению между нарастанием сопротивления теплопередаче и паропроницанию (кривая 1) и можно видеть, что эта кривая расположена как снизу, так и сверху прямой пропорционального нарастания $\Sigma R_{т}/R_{то}$ и $\Sigma R_{п}/R_{по}$ (штриховая линия). На основании кривой 1 (рис. 5) можно предположить, что данная конструкция стены будет иметь относительно высокую температуру начала конденсации: $t_{нк} = -2^{\circ}\text{C}$.

Если в рассматриваемой конструкции стены провести некоторые изменения (кирпич заменить на монолитный железобетон и увеличить толщину пенобетона на 100 мм), то соотношение сопротивлений теплопередаче и паропроницаемости окажется ниже пропорциональной (штриховая линия) зависимости (кривая 2, рис. 5) и температура начала конденсации понизится до $t_{нк} = -12^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, изменением конструкции ограждения можно исключить конденсацию парообразной влаги до температуры наружного воздуха $t_{н} = -12^{\circ}\text{C}$.

Предложенный метод формирования конструкции ограждений на основе установления определенного сочетания между нарастанием сопротивления теплопередаче $\Sigma R_{т}/R_{то}$ и паропроницаемости $\Sigma R_{п}/R_{по}$ позволяет понизить температуру начала конденсации и, следовательно, уменьшить объемы конденсированной влаги в ограждении, а для некоторых климатических районов вообще исключить конденсацию парообразной влаги в ограждающих конструкциях.

Список литературы

1. Власов О.Е. Основы строительной теплотехники. М., 1938. С. 56.
2. Вытчиков Ю.С. Определение плоскости конденсации для многослойных ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2006. № 4. С. 92–94.
3. Перехоженцев А.Г. Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. С. 212.
4. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: СИ, 1973. 287 с.
5. Куприянов В.Н., Сафин И.Ш., Хабибуллина А.Г. К вопросу о паропроницаемости ограждающих конструкций // ACADEMIA. Строительство и архитектура. 2009. № 5. С. 504–507.

**14-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ОСЕННИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ**

25-28 сентября

XIV-я специализированная выставка
ЖИЛИЩЕ

VI-я специализированная выставка
**ИНЖЕНЕРНЫЕ
КОММУНИКАЦИИ
ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ**

2012
КАЗАНЬ

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

УДК 697.132

*Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА, канд. техн. наук, М.М. ЕЛЬЧИЩЕВ, студент,
Тамбовский государственный технический университет*

Влияние режима заморозков на долговечность наружных ограждающих конструкций в Центрально-Черноземном регионе

Охарактеризована проблема, возникающая при прогнозировании долговечности наружных ограждающих конструкций зданий Центрально-Черноземного региона с частыми периодическими оттепелями и заморозками. Определены средние даты начала и конца морозного периода за различные интервалы наблюдений для отдельных городов и Центрально-Черноземного региона в целом.

Ключевые слова: *внутрипоровое, долговечность, ограждающие конструкции, кристаллогидрат.*

Важной задачей современного жилищного строительства в городах Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) является возведение жилых зданий, имеющих необходимую долговечность наружных ограждающих конструкций.

Вопросам теории долговечности и расчета наружных ограждающих конструкций зданий при неблагоприятных условиях эксплуатации посвящена монография профессора НИИСФ С.В. Александровского «Долговечность наружных ограждающих конструкций». Автором был сделан вывод о необходимости исследования долговечности зданий, эксплуатирующихся не только в условиях Северной климатической зоны, но и в районах с частыми периодическими оттепелями и заморозками без значительного понижения температуры.

Такие климатические условия характерны для ЦЧР, объединяющего Тамбовскую, Липецкую, Курскую, Воронежскую и Белгородскую области, а также для Орловской и Брянской областей. Для прогнозирования долговечности наружных ограждающих конструкций необходима информация о продолжительности устойчивого морозного периода и химическом составе внутрипорового вещества (ВПВ) конструкций. Состав ВПВ может изменяться вследствие неблагоприятных воздействий знакопеременной температуры, влажности воздуха, атмосферных осадков, газов и пыли, которая в свою очередь включает гигроскопические соли.

Проникновение газов (диоксида углерода, оксидов азота и серы и др.) из окружающей среды в толщу стенового материала возможно за счет диффузии [1]. Дополнительное проникновение газов и пыли происходит из-за увлажнения конструкции [2] атмосферными осадками с растворенными веществами, а также из-за капиллярного всасывания растворов солей из почвы при нарушенной гидроизоляции. Тогда в поровом пространстве вследствие химических реакций образуются гидрокарбонаты и другие соли.

Долговечность напрямую зависит от количества циклов замораживания-оттаивания стенового материала. Исследованию режима оттепелей на территории России посвящена работа В.М. Мирвис и И.П. Гусевой [3], обобщающая

исследования в этой области гидрометеорологии. В работе показано, что может иметь значение не только сам факт перехода температуры через 0°C , но также длительность и энергетические показатели воздействия положительных и отрицательных температур.

Наибольшую опасность представляют кристаллы льда и солей, оказывающие расклинивающее действие на стеновой материал. Количество выпадения кристаллизующегося из воды без примесей при отрицательной температуре в поровом пространстве стенового материала, было рассчитано С.В. Александровским. Однако когда в стеновой материал проникают гигроскопические соли, усложняются процессы фазовых превращений внутрипорового вещества. Кристаллизация солей из порового раствора происходит как при положительной температуре вследствие сушки ограждающей конструкции и повышении концентрации порового раствора до значения насыщения, так и при охлаждении раствора вплоть до отрицательной температуры вследствие уменьшения растворимости соли и выпадении некоторого ее количества в виде кристаллов. Изменение температуры порового раствора часто приводит к изменению вида кристаллизующейся из него соли. Хлорид натрия при температуре ниже $+0,15^{\circ}\text{C}$ кристаллизуется из раствора в виде кристаллогидрата $\text{NaCl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а при более высокой температуре – в виде безводного хлорида натрия. Фосфат натрия в диапазоне $0-40^{\circ}\text{C}$ кристаллизуется из раствора в виде кристаллогидрата $\text{Na}_3\text{PO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$. При отрицательной температуре количество льда и кристаллической соли выявляют по химическим диаграммам растворимости водно-солевых систем, предварительно определив содержание соли (мас. %) в стеновом материале.

С целью получения данных длительности устойчивого морозного периода в работе было проведено сравнение дат первого и последнего заморозков, средних за каждое десятилетие с 1927* по 2005 г. (в гидрометеорологии – «многолетний период наблюдений»), с датами заморозков за период с 1927* по 2008 г. и заморозками за десяти-

* Для Брянска в связи с отсутствием данных до 1936 г. за начало периода наблюдений принимали 1936 г.

Таблица 1

Город	Отклонения от средних дат заморозков по ЦЧР за периоды					
	1927–2005 гг.		1927–2008 гг.		1998–2007 гг.	
	последнего	первого	последнего	первого	последнего	первого
Тамбов	-2	+2	-3	+2	+11	0
Брянск	+6	-2	+7	-1	-1	0
Липецк	+1	+2	+1	0	+1	+1
Орел	+6	-3	+6	-5	+14	-10
Курск	-4	-1	-4	-2	-8	+7
Воронеж	-2	+4	-1	+2	-5	+3
Белгород	-2	+4	-3	+4	-7	+4
Среднее значение	0,43	0,86	0,43	0	0,71	0,71
Отклонения по городам (по абсолютным значениям)	3	3	4	3	8	4
Отклонения средних по ЦЧР от средних многолетних	0	0	-1	2	0	5

Таблица 2

Город	Средняя дата заморозка за 1927–2005 гг.		Отклонения от средних многолетних дат заморозков за периоды			
			1927–2008 гг.		1998–2007 гг.	
	последнего	первого	последнего	первого	последнего	первого
Тамбов	25 апреля	4 октября	-2	+2	+13	+3
Брянск	3 мая	30 сентября	0	+3	-7	+7
Липецк	28 апреля	4 октября	-1	0	0	+4
Орел	3 мая	29 сентября	-1	0	+8	-2
Курск	23 апреля	1 октября	-1	+1	-4	+13
Воронеж	25 апреля	6 октября	0	0	-3	+4
Белгород	25 апреля	6 октября	-2	+2	-5	+5
Среднее по ЦЧР	27 апреля	2 октября	26 апреля	4 октября	27 апреля	7 октября
Отклонения средних по ЦЧР от средних многолетних	0	0	-1	+1,14	+0,29	+4,86

летие с 1998 по 2007 гг. Были использованы данные справочника по климату СССР, научно-прикладного справочника по климату СССР и результаты наблюдений областных центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ЦЧР**. Для каждого города были построены диаграммы дат первого и последнего заморозков, осреднены метеорологические данные за отдельные годы по смежным десятилетиям. Была определена продолжительность морозного периода, осредненная для каждого десятилетия, которая представляла собой интервал времени между датами первого и последнего заморозков. Для всех городов были определены базовые показатели климатической информации. Вычисляли следующие статистические параметры: средние даты первого и последнего заморозков, их средние квадратические отклонения, коэффициенты асимметрии и корреляции, уровень надежности, что позволило найти доверительный интервал, на который с надежностью 95% попадает день первого или последнего заморозка (табл. 1).

По результатам исследований дат наступления первого и последнего заморозков в городах ЦЧР, представленных в работе [4] и др., были установлены средние даты заморозков. За период исследования 1927–2005 гг. средняя дата

последнего заморозка приходилась на 27 апреля, а первого – на 2 октября. За период времени 1927–2008 гг. указанные даты приходились соответственно на 26 апреля и 4 октября, а за 1998–2007 гг. – на 27 апреля и 7 октября. Сравнение средних дат заморозков в городах Центрально-Черноземного региона позволило установить, что за период времени 1927–2008 гг. средняя дата последнего заморозка по ЦЧР приходилась на 1 день раньше, а первого заморозка – на 2 дня позже средней многолетней даты, определяемой гидрометеорологами по климатическим справочникам за стандартный период времени 1927–2005 гг. За десятилетие с 1998–2007 гг. средняя дата последнего заморозка по ЦЧР совпала со средней многолетней датой, а первого заморозка наступила на 5 дней позже средней многолетней даты (табл. 2).

Отклонения средних дат заморозков в городах от средних дат заморозков в ЦЧР представлены в табл. 1. Знаки «+» и «-» означают наступление заморозка соответственно позже и раньше средней даты заморозка в ЦЧР на указанное количество дней.

Отклонения средних дат заморозков по ЦЧР от средних многолетних дат по ЦЧР составило: за период 1927–2008 гг. -1 и +2 дня, за период 1998–2007 гг. – 0 и +5 дней

** Данные предоставлены С.Н. Дудником, начальником ФГУ «Тамбовский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

для последнего и первого заморозков соответственно. Отклонение средних дат заморозков за последнее десятилетие по ЦЧР от средних дат заморозков за последнее десятилетие по отдельным городам максимально для Тамбова, Орла и Курска (табл. 1).

По сравнению с продолжительностью устойчивого морозного периода за 1927–2005 гг. продолжительность устойчивого морозного периода за последние 10 лет в Тамбове и Орле увеличилась на 10 дней, в Липецке, Воронеже, Белгороде, Брянске и Курске сократилась соответственно на 4, 7, 10, 14 и 17 дней (табл. 2). Однако с 1927 до 2008 г. наблюдается сокращение устойчивого морозного периода на величину до 4 дней.

Учитывая незначительную разницу в датах наступления первого и последнего заморозков, очевидно, что для городов, входящих в рассматриваемую группу, при расчете долговечности наружных ограждающих конструкций зданий можно принять средние даты первого и последнего заморозков, установленные авторами.

Выявлена продолжительность устойчивого морозного периода для ЦЧР. Это позволит упростить проведение расчетов, исключая накопление и обработку значительного количества информации из климатических справочников для определения дат заморозков.

Устойчивый морозный период характеризуется понижением температуры наружного воздуха до отрицательных значений, что приводит к уменьшению температуры поро-

вой влаги, снижению растворимости солей, содержащихся в ней и выпадению растворенной соли в виде кристаллов внутри пор стенового материала. Кристаллы солей изменяют нормативные теплофизические свойства стенового материала, а также вследствие высокой твердости оказывают расклинивающее действие на вещество матрицы (скелета) материала, вызывая ее разрушение. Последнее приводит к снижению долговечности наружных стен.

Список литературы

1. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.И. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 2002. 533 с.
2. Свистов П.Ф., Полищук А.И., Першина Н.А. Качественная оценка загрязнения окружающей среды (по данным о химическом составе атмосферных осадков). // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. Спец. вып. № 2. 2010. С. 4–7.
3. Мирвис В.М., Гусева И.П. Изменения в режиме оттепелей на территории России // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. Вып. № 556. 2007. С. 101–115.
4. Ельчищева Т.Ф., Дудник С.Н., Ельчищев М.М. К вопросу влияния климатических условий района строительства на долговечность наружных ограждающих конструкций зданий // АCADEMIA. Архитектура и строительство. 2010. С. 648–651.

4–7 сентября
АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН, КЦДС "АТАКЕНТ"

KazBuild

19-я КАЗАХСТАНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА "СТРОИТЕЛЬСТВО"

 СТРОИТЕЛЬСТВО
ИНТЕРЬЕР

 КЕРАМИКА И КАМЕНЬ
ОКНА, ДВЕРИ И ФАСАДЫ

Для дополнительной информации посетите
официальный сайт выставки: www.kazbuild.kz

Итека (Алматы) -
Алматы, Казахстан, 050057, ул.Тимирязева, 42, 2 этаж,
Тел.: +7 727 258 34 34; Факс: +7 727 258 34 44; E-mail: build@iteca.kz

параллельно пройдет выставка



5-я Юбилейная Международная Выставка
Систем Отопления и Вентиляции, Кондиционирования,
Водоснабжения, Сантехники и Бассейнов

УДК 69.059.4

*В.Н. КУПРИЯНОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН,
А.И. ИВАНЦОВ, инженер-архитектор,
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Обеспечение долговечности ограждающих конструкций на стадии их проектирования

Современная нормативная база не в состоянии обеспечить проектирование ограждающих конструкций с заданным сроком службы. Предложены пути развития и совершенствования нормативных документов.

Ключевые слова: нормы проектирования, нормативная база, ограждающие конструкции, долговечность.

Федеральный закон № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», принятый в 2009 г., в ст. 33 предписывает: «...в проектной документации здания или сооружения должна содержаться информация о сроке эксплуатации здания или сооружения и их частей». Ограждающие конструкции являются важной частью зданий и сооружений, поэтому данное предписание федерального закона требует отражения в проектной документации их срока эксплуатации (долговечности или срока службы).

Рассмотрим, насколько готова существующая нормативная база обеспечить выполнение на стадии проектирования предписания федерального закона.

Так, в п. 1.6 СНиП II-V.6–62 «Ограждающие конструкции. Нормы проектирования» записано: «Долговечность ограждающих конструкций определяется сроком их службы **без потери требуемых эксплуатационных качеств** в данных климатических условиях при заданном режиме эксплуатации». Далее приведены **степени долговечности** ограждающих конструкций: I степень со сроком службы не менее 100 лет, II степень – не менее 50 лет, III степень – не менее 20 лет.

В примечании к п. 1.7 СНиП II-V.6–62 записано: «Допускается понижение требований к долговечности тех элементов конструкций, которые по условиям эксплуатационного режима технически возможно и экономически целесообразно возобновлять при ремонтах (например, кровля, отделочные слои, заполнения проемов и др.)».

Требуемая степень долговечности по определению п. 1.8 СНиП II-V.6–62 обеспечивается «применением материалов, имеющих **надлежащую стойкость** (морозостойкость, влагостойкость, биостойкость, стойкость против коррозии, высокой температуры, циклических температурных колебаний и других разрушающих воздействий окружающей среды), а также соответствующими конструктивными решениями...».

Однако расшифровка понятия «надлежащая стойкость» в СНиП II-V.6–62 отсутствует. Пункт 1.8 этого СНиПа воспроизведен в действующих нормах СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий», а также в проекте актуализированного СНиП 23-02–2003. В современных документах

расшифровка понятия «надлежащая стойкость» также отсутствует.

В 1972 г. глава СНиП II-V.6–62 была отменена и работы по нормированию долговечности ограждающих конструкций были остановлены. В 1986 г. в РСН 58-86 «Рекомендации по проектированию наружных стен панельных жилых зданий для северной строительной-климатической зоны» отмечается возврат к этой проблеме и приведены те же степени долговечности ограждающих конструкций (100, 50 и 20 лет), которые должны соотноситься с классами капитальности зданий. Однако классов капитальности зданий в этом документе не приводится, а даются отсылки к СНиПам по проектированию зданий того или иного назначения. Например, в СНиП II-Л.1 «Жилые здания» были прописаны классы капитальности зданий, однако в последующие переиздания этого документа они не были включены.

Проведенный обзор нормативных документов показал, что отдельные вопросы обеспечения долговечности ограждающих конструкций эпизодически находили освещение в нормах, но системная работа в этом направлении отсутствовала.

После перехода строительной отрасли на повышенную теплозащиту ограждающих конструкций проблема их долговечности заявила о себе с большой остротой. Десятки зданий после 7–9 лет эксплуатации становились аварийными вследствие разрушения фасадных систем [1–3].

В нормативных документах наметился возврат к проблеме долговечности ограждающих конструкций. Однако произошло видоизменение понятия «долговечность», исчезла ориентация на режим эксплуатации ограждений и климатические условия. Основным фактором становится система технического обслуживания и ремонта.

В ТР 165–05 «Технические рекомендации по установлению долговечности (срока службы) строительных материалов и изделий» приводится следующее определение: «**Долговечность** – способность материала, изделия, конструкции, системы сохранять свои эксплуатационные свойства (работоспособность) при установленной системе технического обслуживания и ремонтов». Аналогичное определение для наружных стен приведено в СТО РОИС «Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий».

Техническое обслуживание и ремонт ограждающих конструкций, безусловно, увеличивают их срок службы, но в современной трактовке понятия «долговечность» исчезает поведение (старение) материалов ограждающих конструкций в различных условиях эксплуатации при различных климатических воздействиях. То есть исчезает возможность формировать тот справочный материал, который позволит на стадии проектирования ограждающих конструкций подбирать материалы функциональных слоев с необходимой степенью долговечности.

В ТР 165–05 заложена прогрессивная методология по установлению долговечности (срока службы) материалов ограждающих конструкций (кровельных, гидроизоляционных, теплоизоляционных, бетонов, лакокрасочных и других материалов). Основу методологии составляют три важных аспекта:

- для разных материалов определен свой перечень показателей свойств, который, по мнению разработчиков, определяет их эксплуатационные характеристики;
- определены границы изменения величины показателя, которые принимаются за предельное состояние показателя при старении;
- дана ссылка на методы испытаний как при старении материалов (испытание на долговечность), так и при определении отдельных показателей свойств.

С формальной точки зрения в этом документе представлено все необходимое: перечень показателей свойств материалов, определяющий их эксплуатационные качества; предельные состояния этих показателей, а также методы испытаний материалов на старение (долговечность) и определения отдельных показателей свойств.

Однако содержательная сторона методологии имеет ряд неопределенностей. Методы испытаний на долговечность представляют собой ведомственные документы, они не закреплены на федеральном уровне, что затрудняет их использование при составлении базы данных по долговечности для различных материалов. В определении термина «долговечность» в ТР 165–05 исключены понятия «режим эксплуатации ограждения» и «климатические условия», что ставит под сомнение адекватность предложенных методов по оценке долговечности.

Предельные значения показателей свойств материалов не всегда обоснованы. Например, для пенополистирольных плит допускается изменение размеров образца после испытаний до 2%. Это означает, что на теплозащитной оболочке здания появятся двухсантиметровые щели при размере плит в 1 м. Если фасад выполнен в виде штукатурки по пенопласту, то возникнут проблемы со штукатурным слоем. Для этого же материала допускается снижение коэффициента теплопроводности более чем на треть (до 35%). Едва ли такое снижение теплозащитных качеств материала следует считать оправданным.

Подводя итоги анализа ТР 165–05, следует отметить, что этот документ весьма перспективен по сути, но требует расширения исследований на другие материалы ограждающих конструкций, не вошедших в документ, и развития методов по оценке долговечности.

В заключение статьи в порядке обсуждения сформулируем основные вопросы, требующие решения с точки зрения Федерального закона № 384.

На нормативном уровне необходимо закрепить классы капитальности зданий, что позволит обосновать сте-

пени долговечности (срок службы) как несущих, так и ограждающих конструкций. Необходимо создавать базу данных по долговечности материалов функциональных слоев ограждений (конструкционных, теплоизоляционных и облицовочных) в определенных условиях эксплуатации. Эта база данных позволит формировать ограждающие конструкции из «равнодолговечных» материалов. Если таких материалов не окажется в распоряжении проектировщика, то конструкция ограждения должна предусматривать техническую возможность ремонта и замены материалов или частей конструкций, имеющих низкую долговечность.

База данных по долговечности (сроку службы) материалов для ограждающих конструкций должна представлять собой справочный материал по долговечности, аналогичный тому, которым давно пользуются проектные организации при проектировании теплозащиты зданий (теплотехнические свойства материалов).

База данных по долговечности материалов ограждений должна выполняться головными научно-исследовательскими институтами отрасли с привлечением специалистов, владеющих вопросами долговечности строительных материалов. Уровень разработок должен соответствовать «Перечню национальных стандартов и сводов правил...», обязательных для применения, утвержденных Распоряжением Правительства РФ от 21.06.10 № 1047-р.

Составление базы данных по долговечности материалов должно быть основано на методах испытаний, режимы которых являются адекватными эксплуатационным воздействиям. Представляется, что режимы испытаний должны быть различными для различных функциональных слоев ограждающих конструкций (конструкционных, теплоизоляционных и облицовочных), поскольку эксплуатационные воздействия в этих слоях также будут различными.

Таким образом, ключевым вопросом при составлении базы данных по долговечности материалов ограждающих конструкций являются обоснование и выбор перечня показателей свойств материалов, которые формируют эксплуатационные характеристики ограждающих конструкций и их предельные состояния. Режимы испытаний материалов на старение (долговечность) должны адекватно моделировать эксплуатационные воздействия в различных климатических условиях.

Список литературы

1. Бессонов И.В. Исследование стойкости фасадных систем наружного утепления с тонким штукатурным слоем к температурно-влажностным воздействиям // Сб. Труды I Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплотехника: актуальные вопросы нормирования». СПб., 2008. С. 199–207.
2. Бессонов И.В. Фасады тонкие, но стойкие... // Строительство. 2008. № 10. С. 123–125.
3. Лобов О.И., Ананьев А.И. Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции // Строительные материалы. 2008. № 4. С. 56–59.
4. Hens H. Building physics – heat, air and moisture. fundamentals and engineering methods with examples and exercises // Wiley, 2007. 270 p.

УДК 355.691.21

*М.В. БУТОРИНА, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела акустических исследований (Институт комплексного транспортного проектирования НИПИ ТРТИ, Санкт-Петербург);
Д.А. КУКЛИН, канд. техн. наук (Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург)*

Оценка уровней шума потоков железнодорожного транспорта

В статье приводится методика расчета внешнего шума поездов. Методика учитывает коррекции на различные условия распространения шума поездов. Разработанная методика, учитывающая все параметры, влияющие на распространение шума потока железнодорожного транспорта, позволяет спрогнозировать уровни шума и разработать эффективные мероприятия шумозащиты.

Ключевые слова: поезд, источник шума, шумозащита, уровень звукового давления, эквивалентный уровень звука.

Железнодорожный транспорт – один из основных источников шума в жилой застройке. Так, например, превышение ПДУ по шуму, создаваемому поездами в жилой застройке крупных мегаполисов, достигает: в Москве 16–27 дБА; в Санкт-Петербурге 16–21 дБА.

Для разработки и выбора эффективных мер защиты от шума поездов был выполнен комплекс исследований: уточнение механизмов шумообразования; исследования распространения шума от поездов в окружающей среде при различиях в рельефе местности; исследования средств шумозащиты и их сравнительный анализ.

Были выполнены экспериментальные исследования, с целью установить зависимости эквивалентных и максимальных уровней звука от типа поездов, скорости, длины и т. д. Выборка была получена по расчетам линейной регрессии для результатов измерений шума при прохождении 56 пассажирских поездов длиной от 175 до 500 м; 59 грузовых поездов длиной от 506 до 1188 м; 139 электропоездов длиной от 176 до 264 м и 37 высокоскоростных поездов длиной 250 м.

На основании результатов исследований разработан проект ГОСТа по расчету уровней шума, создаваемых потоками железнодорожного транспорта.

Основной источник шума – ударный процесс взаимодействия колеса с рельсом на микронеровностях последнего. Данные о характере шумообразования сведены в табл. 1.

Таблица 1

Источник шума	Ориентировочный вклад в процессы шумообразования, %	Основной частотный диапазон излучения звука, Гц
Колесо	Менее 30%	1000–4000
Рельс	Менее 70%	500–2000
Шпалы	1–2%	До 400
Корпус подвижного состава, тормозные колодки	3–5%	До 400

Скорость – основной параметр, влияющий на шум поезда (рис. 1).

На скоростях до 50 км/ч (14 м/с), как правило, превалирует шум двигателей и вспомогательных установок, в диапазоне свыше 50 (14 м/с) и до 200 км/ч (55 м/с) – основной вклад шума от взаимодействия колеса с рельсом, а при скоростях свыше 200 км/ч (55 м/с) начинает проявляться вклад аэродинамического шума.

Дополнительными источниками шума поездов являются тормозные колодки, стыки рельсов, пантограф, сцепка и др.

По результатам регрессионного анализа результатов измерений уровней шума поездов было установлено, что эквивалентный уровень звука ($L_{Aeq,25}^1$), создаваемый отдельными поездами *i*-й категории на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути, наиболее точно можно определить по формулам:

– для пассажирских поездов (категория 1):

$$L_{Aeq,25}^1 = 25,3 \lg v_1 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{I_1}{25} \right) \right\} + 33,3; \quad (1)$$

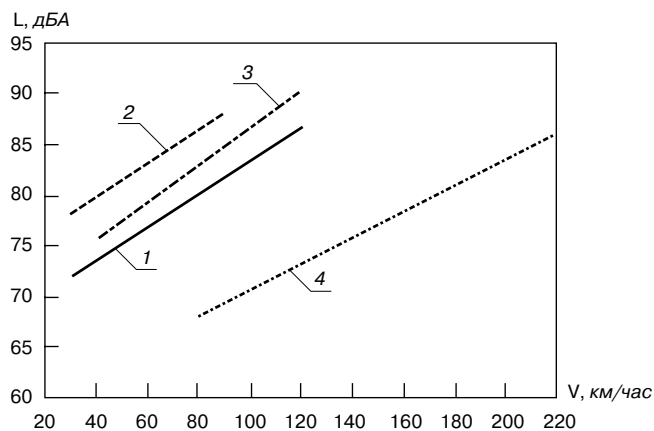


Рис. 1. Зависимость шума железнодорожного поезда от скорости: 1 – пассажирские; 2 – грузовые; 3 – электропоезда; 4 – высокоскоростные

– для грузовых поездов (категория 2):

$$L_{Aeq25}^2 = 20,4 \lg v_2 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_2}{25} \right) \right\} + 46; \quad (2)$$

для электропоездов (категория 3);

$$L_{Aeq25}^3 = 28,9 \lg v_3 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_3}{25} \right) \right\} + 28; \quad (3)$$

для высокоскоростных поездов (категория 4):

$$L_{Aeq25}^4 = 41,1 \lg v_4 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_4}{25} \right) \right\} - 12,3, \quad (4)$$

где v_i – скорость движения поезда i -й категории, км/ч;

l_i – длина поезда i -й категории, м;

$i = 1, 2, 3, 4$.

Звуковые сигналы применяют на железнодорожном транспорте только в случае необходимости предотвращения аварийной ситуации, поэтому учитывать данный источник для расчета эквивалентного уровня звука нецелесообразно.

При этом часовой эквивалентный уровень звука $L_{Aeq25,th,i}^i$ потока поездов i -й категории, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение часа, рассчитывают по формуле:

$$L_{Aeq25,th,i}^i = 10 \lg \frac{1}{3600} \sum_{j=1}^{n_i} t_{j,i} 10^{0,1 L_{Aeq25,j,i}^i}, \quad (5)$$

где $L_{Aeq25,j,i}^i$ – эквивалентный уровень звука, дБА, создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути j -м поездом i -й категории, проходящим в течение часа;

n_i – число поездов i -й категории, проходящих по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа;

$t_{j,i}$ – время следования каждого поезда по рассматриваемому участку пути в течение l -го часа, с.

Часовой эквивалентный уровень звука $L_{Aeq25,th,i}^i$ создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути потоками поездов железнодорожного транспорта всех категорий, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение часа, определяется по формуле:

$$L_{Aeq25,th,i}^i = 10 \lg \sum_{j=1}^n 10^{0,1 L_{Aeq25,th,j,i}^i}. \quad (6)$$

Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq25,k}$ за время оценки (16 ч днем и 8 ч ночью) рассчитывают по формуле

$$L_{Aeq25,k} = 10 \lg \frac{1}{T_k} \sum_{i=1}^{n_k} t_i 10^{0,1 L_{Aeq25,th,i}^i}, \quad (7)$$

где T_k – время оценки, ч, принимаемое равным 16 ч ($n_k = 16$) для дня и 8 ч ($n_k = 8$) для ночи;

$t_i = 1$ ч.

Максимальный уровень звука L_{Amax25}^i шума, создаваемого поездами различных категорий на расстоянии 25 м от оси крайней полосы движения, наиболее точно оценивается при расчете по формулам:

– для пассажирских поездов (категория 1):

$$L_{Amax25}^1 = 24 \lg v_1 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_1}{50} \right) \right\} + 41,2; \quad (8)$$

– для грузовых поездов (категория 2):

$$L_{Amax25}^2 = 15 \lg v_2 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_2}{50} \right) \right\} + 59,9; \quad (9)$$

– для электропоездов (категория 3):

$$L_{Amax25}^3 = 27,5 \lg v_3 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_3}{50} \right) \right\} + 36,2; \quad (10)$$

– для высокоскоростных поездов (категория 4):

$$L_{Amax25}^4 = 45,1 \lg v_4 + 10 \lg \left\{ \arctg \left(\frac{l_4}{50} \right) \right\} - 19,2, \quad (11)$$

где v_i , l_i и i – те же величины, что в формулах (1) – (4).

Коэффициент корреляции, показывающий меру линейной зависимости между значениями $x_j = 10 \lg v_j$ и

$$y_j = L_{Amax25}^i - 10 \lg \left(\frac{\arctg \frac{l_j}{50}}{25\pi} \right), \quad j = 1, \dots, n_i$$

(n_i – число испытанных поездов i -й категории), составил для пассажирских поездов 0,77; для грузовых поездов 0,69; для электропоездов 0,69; для высокоскоростных поездов 0,98. Зависимость от длины поезда получена аналитически для модели поезда в виде линейного источника длиной l с равномерным распределением вдоль l синфазных точечных источников одинаковой производительности.

За максимальный уровень звука потока поездов, следующего по рассматриваемому участку пути, за время оценки (16 ч днем и 8 ч ночью) принимают наибольшее из рассчитанных по формулам (8) – (11) значение:

$$L_{Amax25,k} = \max_i \{ L_{Amax25}^i \}, \quad (12)$$

где $L_{Amax25,k}$ – максимальный уровень звука от поездов i -й категории, дБА.

Факторы, которые влияют на распространение шума поездов, а следовательно, и на их шумовые характеристики, следующие: наличие стыков пути и стрелок; тип пути; наличие кривых участков пути; наличие железнодорожных мостов; характер движения (ускорение, торможение).

Анализ литературных источников, расчетных методик, используемых в разных странах, а также результатов экспериментов позволил определить коррекции, которые следует принимать в расчет при оценке шумовых характеристик поездов.

Коррекцию на тип пути, наличие стыков и стрелок определяют по формуле:

$$\Delta L_{путь} = \Delta L_n + 10 \lg(1 - f), \quad (13)$$

где ΔL_n – коррекция на тип пути, принимаемая по табл. 2;

f – параметр, учитывающий наличие стыков и стрелок, определяемый по табл. 3.

Коррекцию на прохождение кривых участков пути следует принимать в зависимости от радиуса кривизны проходного участка:

- на кривых участках пути с радиусом от 300 до 650 м – $\Delta L_{кр} = 3$ дБА;
- на кривых участках пути с радиусом менее 300 м – $\Delta L_{кр} = 8$ дБА.

Уровень шума нагруженного поезда, движущегося с ускорением или замедляющего ход, выше, чем ненагруженного поезда при постоянной скорости.

При расчете шумовой характеристики поезда, движущегося с ускорением, следует принимать следующие значения коррекции ΔL_v :

Коррекции на тип пути

Тип пути	Коррекция, дБА
Путь с бетонными шпалами	0
Путь с деревянными шпалами	-2
Путь на бетонных плитах	3

Таблица 2

Коррекция при торможении поезда

Категория по таблице 1	Коррекция при торможении, дБА
1	10
2	12
3	10
4	0

Таблица 4

Таблица 3
Параметр, учитывающий наличие стыков и стрелок

Конструкция пути	f
Путь без стыков, стрелок и пересечений	0
Путь со стыками, одиночная стрелка	1/30
2 стрелки на 100 м	6/100
Более 2 стрелок на 100 м	8/100

Коррекция на тип моста

Тип моста	Коррекция, дБА
Стальной мост	10
Стальной мост с балластным слоем	5
Армированный бетонный мост с балластным слоем	3

Таблица 5

- порожний подвижной состав, движущийся с ускорением минус 6 дБА;
- груженный подвижной состав, движущийся с ускорением минус 2 дБА.

На участках, где происходит торможение, коррекция, определяется по табл. 4 в зависимости от категории поезда.

При проходе по мосту уровни шума, генерируемые поездом, выше, чем при проходе по обычному пути. Увеличение уровня шума зависит от типа моста и пути.

Коррекцию при прохождении поезда по мосту принимают по табл. 5.

Разработанная методика, учитывающая все параметры, влияющие на распространение шума потока железнодорожного транспорта, позволяет наиболее точно спрогно-

зировать уровни шума, создаваемые в жилой застройке и разработать эффективные мероприятия шумозащиты.

Список литературы

1. *Иванов Н.И.* Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Университетская книга, Логос, 2008. 424 с.
2. *HandBook of noise and Vibration control / Edited by Malcolm J. Crocker.*; NY, John Wiley and Sons Inc., 2007. 1569 p.
3. *Цукерников И.Е., Хасс Р.* Уравнения линейной регрессии шумовых характеристик пассажирских поездов // Труды III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия» СПб 22–24 марта 2011 г. С. 286–290.

В издательстве «Стройматериалы» Вы можете приобрести специальную литературу



Книга «Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки»

Автор – канд. техн. наук М.К. Ишук

На конкретных примерах зданий, возведенных в конце 1990-х гг. рассмотрены различные дефекты наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки. Приведены результаты экспериментальных и расчетно-теоретических исследований наружных облегченных стен, инженерные методы расчета различных воздействий на наружные многослойные стены с учетом поэтапности и длительности возведения, включая температурно-влажностные, а также конструктивные требования по назначению расстояния между горизонтальными и вертикальными швами, к конструкциям гибких связей и армированию кладки. Книга предназначена для работников проектных и контролирующих качество строительства организаций.

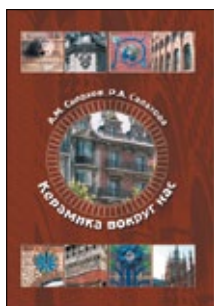
Книга «Керамика вокруг нас»

Авторы – канд. техн. наук А.М. Салахов, Р.А. Салахова

Керамика представлена как искусство и как продукт тонкой технологии. Показано, что свойства керамических изделий определяются химическим, минералогическим и гранулометрическим составом исходных компонентов, а также технологическими параметрами их переработки.

Подробно рассмотрены глинистые минералы как основа керамического сырья. Проведено сравнение микроструктуры и минералогического состава различных видов обожженных керамических изделий, изготовленных как несколько веков назад, так и в наши дни.

Книга предназначена специалистам предприятий, производящих керамические материалы, ученым-материаловедам, преподавателям, аспирантам и студентам вузов технологических и архитектурно-строительных специальностей. Будет полезна архитекторам и проектировщикам, работающим в области жилищного и гражданского строительства.



Для приобретения специальной литературы обращайтесь в издательство «Стройматериалы»
Тел./факс: (499) 976-22-08, 976-20-36 E-mail: mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

УДК 699.86

*И.Е. ЦУКЕРНИКОВ, д-р техн. наук, И.Л. ШУБИН, д-р техн. наук, директор,
НИИСФ РААСН (Москва); Т.О. НЕВЕНЧАННАЯ, д-р техн. наук,
Московский государственный университет печати им. Ивана Федорова*

Оценка снижения уровня звука шумозащитным экраном

Приведен пример расчета снижения уровня звука тонким экраном для точечного источника шума с плоским (розовый шум), высокочастотным (белый шум) и низкочастотным спектром со спадом 3 дБ на октаву. Показано, что расхождения в оценке эффективности экрана по уровню звука могут составлять от 4 до 8 дБ в зависимости от характера спектра падающего на экран звука. Получены выражения для оценки эффективности экрана для автодорожного и железнодорожного шума.

Ключевые слова: уровень звука A , шумозащитный экран, эффективность снижения шума экраном.

На практике часто используют одночисловую оценку эффективности шумозащитного экрана (ШЭ) $\Delta L_{\text{Экр}}$, дБА, характеризующую снижение уровня звука A экраном [1, 2]. $\Delta L_{\text{Экр}}$ является разностью между уровнем звука $A L_{\text{рА}}^{(\text{пр})}$ прямого шума, создаваемого источником шума (ИШ) в расчетной точке (РТ) без экрана, и уровнем звука $A L_{\text{рА}}^{(\text{диф})}$ в РТ шума, дифрагировавшего через края экрана, и определяется выражением:

$$\Delta L_{\text{Экр}} = L_{\text{рА}}^{(\text{пр})} - L_{\text{рА}}^{(\text{диф})} = 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{\text{р}i}^{(\text{пр})} + A_i)}}{\sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{\text{р}i}^{(\text{пр})} - \Delta L_{\text{Экр}i} + A_i)}}, \quad (1)$$

где $L_{\text{р}i}^{(\text{пр})}$ – уровень звукового давления прямого шума в i -й полосе частот, дБ; $\Delta L_{\text{Экр}i}$ – эффективность экрана на среднегеометрической частоте i -й полосы, дБ; A_i – значения частотной коррекции A шумомера на среднегеометрической частоте i -й полосы, дБ; n – число полос рассматриваемого частотного диапазона.

Значения частотной коррекции A_i принимают по ГОСТ Р 53188.1–2008 «Шумомеры. Часть 1. Технические требования» для среднегеометрических частот ($f_{\text{ср}}$) третьоктавных полос в соответствии с данными табл. 1.

Поскольку эффективность экрана в полосах частот $\Delta L_{\text{Экр}i}$ является частотно зависимой величиной, значение эффективности ШЭ по уровню звука $A \Delta L_{\text{Экр}}$ зависит от характера спектра шума, создаваемого ИШ и падающего на экран. Поэтому данная величина не является собственной характеристикой экрана и должна оцениваться с учетом спектрального состава падающего на экран звука. Аналогичная ситуация имеет место для звукоизоляции огражде-

ния [3]. Вместе с тем одночисловую оценку звукоизоляции ограждения выполняют с помощью индекса изоляции, значение которого определяют и нормируют по данным о спектральной характеристике звукоизоляции в соответствии со сводом правил СП 51.13330-11 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003». Обе характеристики могут быть заявлены в технической документации на звукоизолирующее изделие и проверены при сертификационных испытаниях с применением стандартизованных методов [4]. Для оценки эффективности экрана такая альтернатива отсутствует, поэтому особенности определения $\Delta L_{\text{Экр}}$ имеют принципиальное значение.

Для иллюстрации отмеченного обстоятельства о зависимости A -корректированной эффективности ШЭ от характера спектра падающего на экран звука рассчитаем значения $\Delta L_{\text{Экр}}$ для шумов трех характерных спектров:

– шум с плоским спектром (розовый шум):

$$p^2(f) = p_0^2 f_0 / f, \quad L_p(f_{\text{ср}}) = L_0 + C_1$$

– шум с высокочастотным (ВЧ) спектром (белый шум):

$$p^2(f) = p_0^2, \quad L_p(f_{\text{ср}}) = L_0 + L_{f_{\text{ср}}} + C_2$$

– шум с низкочастотным (НЧ) спектром:

$$p^2(f) = p_0^2 f_0^2 / f^2, \quad L_p(f_{\text{ср}}) = L_0 + L_{f_{\text{ср}}} + C_2$$

В приведенных выражениях p_0 и L_0 – звуковое давление, Па, и соответствующий ему уровень звукового давления, дБ, на некоторой частоте f_0 , Гц; $L_{f_{\text{ср}}} = 10 \lg(f_{\text{ср}}/f_0)$, дБ; C_1 и C_2 – постоянные, дБ, зависящие от ширины полосы частот:

Частотная характеристика A шумомера

Таблица 1

$f_{\text{ср}}$, Гц	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160
A_p , дБ	-44,7	-39,4	-34,6	-30,2	-26,2	-22,5	-19,1	-16,1	-13,4
$f_{\text{ср}}$, Гц	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
A_p , дБ	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0	+0,6
$f_{\text{ср}}$, Гц	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A_p , дБ	+1	+1,2	+1,3	+1,2	+1	+0,5	-0,1	-1,1	-2,5

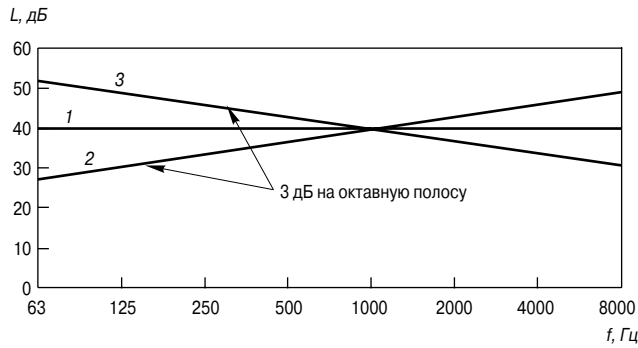


Рис. 1. Спектральные характеристики падающего звука

для октавной полосы $C_1 = -1,6$ дБ; $C_2 = -1,5$ дБ; для третьоктавной полосы $C_1 = -3,4$ дБ; $C_2 = -3,3$ дБ.

Графическое представление октавных спектров рассматриваемых видов шумов дано на рис. 1. При этом принято $f_0 = 1000$ Гц; $L_0 = 41,6$ дБ.

Подставляя записанные выражения для падающего звука вместо $L_{pi}^{(np)}$ в выражение (1) и вынося постоянные множители из-под знаков сумм, получим для эффективности ШЭ по уровню звука А выражение:

$$\Delta L_{Aэкp} = 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n 10^{0,1(A_i + \varepsilon L_i)}}{\sum_{i=1}^n 10^{0,1(A_i - \Delta L_{Aэкp} + \varepsilon L_i)}}, \quad \varepsilon = \begin{cases} 1 & \text{для ВЧ спектра;} \\ 0 & \text{для плоского спектра;} \\ -1 & \text{для НЧ спектра.} \end{cases} \quad (2)$$

Тонкий ШЭ, точечный ИШ. В случае точечного ИШ используя для $\Delta L_{Aэкp}$ выражение, полученное З. Маекава [5]:

$$\Delta L_{Aэкp} = 10 \lg(20N_0); \quad (3)$$

можем переписать выражение (1) в виде:

$$\Delta L_{Aэкp} = 10 \lg(20N_0) + 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n 10^{0,1(A_i + \varepsilon L_i)}}{\sum_{i=1}^n 10^{0,1(A_i + (\varepsilon - 1)L_i)}}, \quad (4)$$

где N_0 – значение числа Френеля на частоте f_0 : $N_0 = 2\delta/\lambda_0$; δ – разность длин пути, м, между ИШ и РТ для дифрагированного через верхний край экрана звука и прямого звука, распространяющегося в отсутствие экрана; λ_0 – длина звуковой волны, м, соответствующая частоте f_0 .

Вычисляя второе слагаемое для значений частотной коррекции A_i из табл. 1 и опорной частоты $f_0 = 1000$ Гц и подставляя вместо числа Френеля N_0 его значение для $\lambda_0 = 0,34$ м, получаем при суммировании для девяти октавных (27 третьоктавных полос) нормируемого диапазона частот с f_{cr} от 63 Гц до 8000 Гц (25 – 10000 Гц):

$$\Delta L_{Aэкp} = 10 \lg \delta + \begin{cases} 25,5 & \text{для ВЧ спектра;} \\ 21,9 & \text{для плоского спектра;} \\ 17,6 & \text{для НЧ спектра.} \end{cases} \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что расхождения в оценке эффективности ШЭ по уровню звука А могут составлять

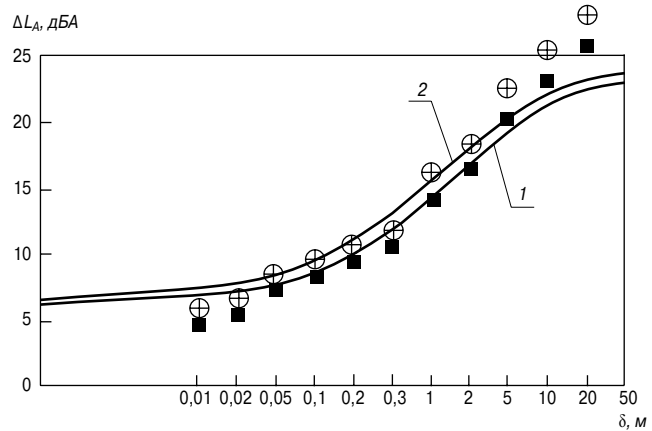


Рис. 2. Снижение уровня звука при тонком экране: 1 – автомобильный поток; 2 – железнодорожные поезда; ■ – результаты расчета по (8) для автомобильного потока; ⊕ – результаты расчета по (8) для железнодорожных поездов

4–8 дБА в зависимости от характера спектра падающего на экран звука. При более выраженном ВЧ или НЧ характере спектра (большем наклоне кривых на рис. 1) расхождения будут еще больше.

Вместе с тем, как отмечено в стандарте ГОСТ 31296.1 (ИСО 1996-1:2003) «Шум. Описание, измерение и оценка шума на местности. Часть 1. Основные величины и процедуры оценки», знания уровня звука А недостаточно для оценки сильного низкочастотного и тонального шума. Кроме того, скорректированное по А значение шумовой характеристики ИШ определяют с заданной погрешностью, как правило, при предположении достаточно плоского спектра шума. При этих условиях оценку эффективности ШЭ можно проводить с использованием выражения:

$$\Delta L_{Aэкp} = 10 \lg \delta + 21,9. \quad (6)$$

В других случаях необходимо в РТ определять (расчетом или посредством измерений) значения уровней звука А прямого и дифрагированного через край экрана полей ИШ и $\Delta L_{Aэкp}$ рассчитывать с помощью исходного выражения (1).

Тонкий экран, линейный ИШ. Линейный ИШ используется для аппроксимации шума автомобильного и железнодорожного транспорта. В этом случае для одночисловой оценки эффективности ШЭ также предполагается плоский характер падающего на экран шума (см., например, европейские стандарты серии EN 1793, устанавливающие методы испытаний для определения акустических характеристик устройств для снижения шума дорожного транспорта). Кроме того, в соответствии с EN 1793-3 «Устройства снижения шума дорожного транспорта - Метод испытания для определения акустических характеристик – Часть 3: Нормированный спектр транспортного шума» для автотранспортного шума при определении скорректированных по частотной характеристике А шумомера уровней звукового давле-

Коррекция L_i для автотранспортного шума по EN 1793-3

Таблица 2

f_{cr} , Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630
A_i , дБ	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-11
f_{cr} , Гц	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
A_i , дБ	-9	-8	-9	-10	-11	-13	-15	-16	-18

ния в третьоктавных полосах частот используют значения коррекции L_p , соответствующие нормированному спектру, приведенные в табл. 2.

В результате входящие в выражение (1) значения скорректированных уровней звукового давления $L_{pi}^{(np)} + A$, могут быть определены из соотношения $L_{pA}^{(np)} - L_i$. Подставляя это соотношение в (1), вынося из-под знаков суммы и сокращая множитель $10^{0,1L_{pA}^{(np)}}$ и используя линейную аппроксимацию известной графической зависимости $\Delta L_{Экрi}$, представленной, например, на рис. 11.5 в монографии [5], получаем для оценки эффективности АЭ по уровню звука A выражение:

$$\Delta L_{AЭкр} = k \lg N_0 + t + 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1(L_i)} }{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1(L_i - L_i)}}, \quad (7)$$

где $k=9$, $t=9$ для $N_0 \geq 1$ и $k=3,6$, $t=8,8$ для $N_0 < 1$.

Для шума железнодорожного транспорта аналогичное выражение получается из выражения (2) с $\varepsilon=0$ и использованием в качестве L_i значений частотной коррекции A шумомера в соответствии с табл. 1.

Вычисляя значения числа Френеля N_0 для длины волны $\lambda_0=0,84$ м ($f_0=405$ Гц) в случае автодорожного шума и $\lambda_0=0,42$ м ($f_0=810$ Гц) в случае железнодорожного шума, получаем окончательно:

$$\begin{aligned} \text{для } N \geq 1 \quad \Delta L_{AЭкр} &= 9 \lg \delta + \begin{cases} 14,4 \text{ для автодорожного шума;} \\ 16,4 \text{ для железнодорожного шума;} \end{cases} \\ \text{для } N < 1 \quad \Delta L_{AЭкр} &= 3,6 \lg \delta + \begin{cases} 14,4 \text{ для автодорожного шума;} \\ 16,4 \text{ для железнодорожного шума.} \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

В диапазоне значений δ от 0,01 до 10 выражения (8) удовлетворительно описывают графические зависимости, рекомендованные для применения при оценке уровня транспортного шума в Руководстве¹, приведенные на рис. 2.

Список литературы

1. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения. Минтранспорта РФ. Росавтодор. М., 2003. 96 с.
2. Шелковников Д.Ю., Шубин И.Л. Оценка эффективности акустических экранов в условиях городской застройки // Материалы V Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие городов и новации жилищно-коммунального комплекса». 2007. Т. 2. С. 156–161.
3. Tsukernikov I.E., Nevenchannaya T.O., Nekrasov I.A. A-weighted sound pressure level calculation for penetrating noise. Proceed. of 37th Intern. Congr. Inter-Noise 2008, Shanghai, China. 2008. Paper in 08 860.
4. Цукерников И.Е., Шубин И.Л. Заявление и проверка значений изоляции воздушного шума звукоизоляционных изделий // Жилищное строительство. 2011. № 10. С. 37–39.
5. Осипов Г.Л., Юдин Е.Я., Хюбнер Г. и др. Снижение шума в зданиях и жилых районах. М.: Стройиздат, 1987. 558 с.

¹ Руководство по расчету и проектированию средств защиты застройки от транспортного шума. М.: Стройиздат, 1982. 38 с.

II СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ЕвроСтройЭкспо – 2012

6-9

ноября 2012 г.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
Украина, Киев, Броварской пр-т, 15
М "Левобережная"

- Промышленное и жилищное строительство
- Архитектура и ремонт
- Строительные технологии, материалы и конструкции
- Техника, оборудование, инструмент для строительных и ремонтных работ
- Климатическое оборудование, источники отопления и горячего водоснабжения, сантехника
- Интеллектуальные технологии автоматизации жилья
- Элементы и предметы интерьера и декора

ОРГАНИЗАТОРЫ:
Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины
Международный выставочный центр

TECH-EXPO
+38 044 201-11-59, 201-11-66
e-mail: stroyexpo@iec-expo.com.ua
forum@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua
www.tech-expo.com.ua

Официальный медиа-партнер:
Эксклюзивный медиа-партнер:
Технический партнер:

УДК 534.833.46:699.844.3

*О.В. СТАРЦЕВА, инженер (olga.startseva@inbox.ru),
С.Н. ОВСЯННИКОВ, д-р техн. наук (ovssn@tsuab.ru),
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

Исследование звукоизоляции однослойных и двухслойных перегородок

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции однослойных и двухслойных перегородок с воздушным промежутком или с заполнением звукопоглощающим материалом. Для расчета звукоизоляции однослойных и многослойных конструкций использован импедансный метод. Исследованы упругодиссипативные свойства гипсоволокнистых плит.

Ключевые слова: однослойные и двухслойные перегородки, звукоизоляция, резонансная частота, воздушный шум, коэффициент внутренних потерь, импедансный метод.

В связи с широким распространением каркасного домостроения и использованием облегченных конструктивных систем развитие методов расчета звукоизолирующей способности двойных перегородок с воздушным промежутком или с заполнением звукопоглощающим материалом является актуальной задачей.

Для определения звукоизоляции какой-либо конструкции необходимо знать ее физико-механические свойства, но существующие данные об этом довольно противоречивы; так, например, модуль упругости ГВЛ составляет от $7 \cdot 10^9$ Па до $20 \cdot 10^9$ Па [1, 2]. Для определения упругодиссипативных свойств материалов перегородок были проведены эксперименты.

Для измерения модуля упругости использован метод стоячих волн в полубесконечной стержневой конструкции. Этот метод основан на возбуждении изгибных колебаний и определении длины изгибной волны.

Стержень ГВЛ с высотой сечения $h=0,08$ м, шириной $b=0,01$ м и длиной $l=2,5$ м был одним концом помещен в демпфирующую смесь из песка и опилок для предотвращения оттока энергии, другой конец был свободно подвешен на тонких нитях. Измерения были произведены при помощи электродинамического возбудителя колебаний, виброметра, генератора, усилителя и акселерометра.

Для определения модуля упругости гипсоволокна в стержне были измерены длины волн (удвоенное расстояние между соседними узлами стоячей изгибной волны). Измерения выполнены на частотах от 50 до 1000 Гц. На каждой резонансной частоте модуль упругости рассчитан по формуле [2]:

$$E = \left(\frac{\lambda^2 f}{2\pi h} \right)^2 \cdot 12\rho, \quad (1)$$

где λ – длина волны; f – частота; h – толщина стержня; ρ – плотность.

Среднее значение модуля упругости составило Па.

Для определения плотности было заготовлено четыре образца гипсоволокна, определена их масса и объем. Среднее значение плотности по четырем образцам составило 1246 кг/м^3 .

Для измерения коэффициента потерь η использован метод, основанный на анализе резонансной кривой [3]. Коэффициент потерь найден по ширине резонансной кривой Δf :

$$\eta = \frac{\Delta f}{f_{\text{рез}}}. \quad (2)$$

Ширина резонансной кривой отсчитывается на уровне 0,707 от резонансной амплитуды (рис. 2).

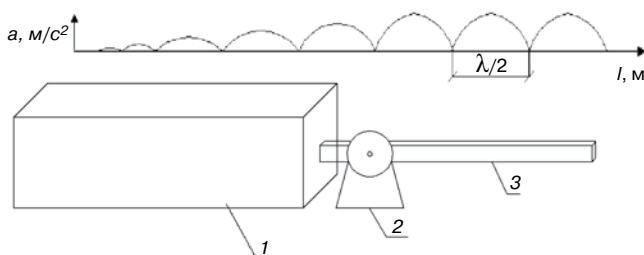


Рис. 1. Схема форм колебаний, возникающих при электродинамическом возбуждении стержня ГВЛ: 1 – коробка с демпфирующей смесью; 2 – электродинамический возбудитель колебаний; 3 – стержень из ГВЛ

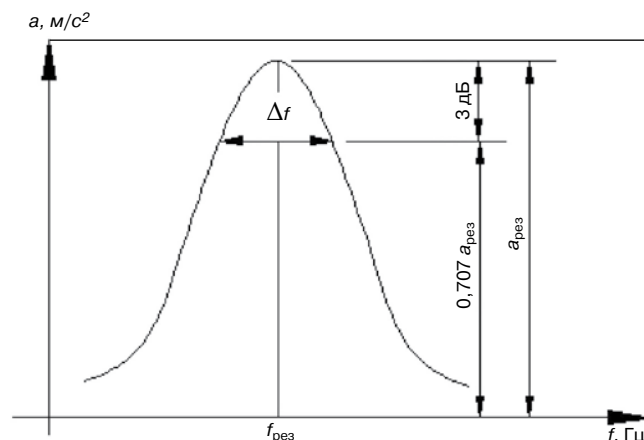


Рис. 2. К определению характеристик затухания колебательной системы с трением по ширине резонансной кривой

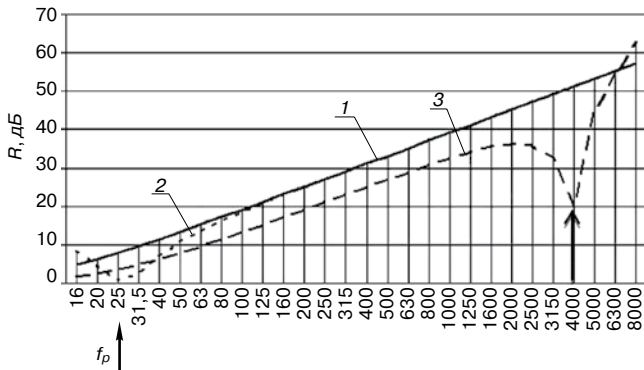


Рис. 3. Расчетные частотные характеристики звукоизоляции однослойной гипсоволокнистой перегородки толщиной 10 мм: 1 – для бесконечной перегородки, рассчитанной по закону масс; 2 – для свободно опертой пластины с размерами $a=1$ м, $b=0,8$ м; 3 – для бесконечной конструкции при падении на нее звуковых волн под углом 60°

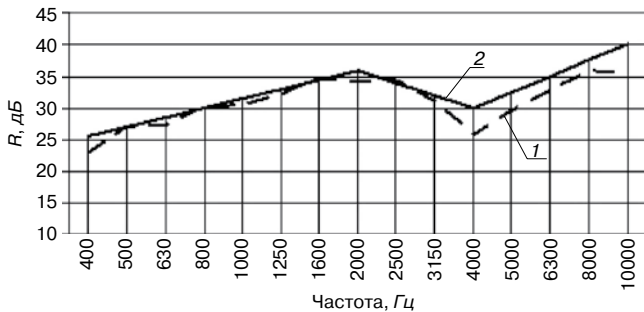


Рис. 4. Частотные зависимости звукоизоляции гипсоволокнистой пластины толщиной 10 мм: 1 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции; 2 – расчетная частотная характеристика звукоизоляции

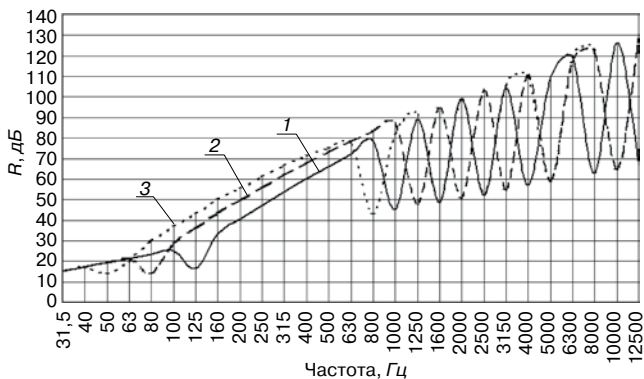


Рис. 5. Влияние области воздушного слоя между пластинами на звукоизоляцию двухслойной конструкции. Толщина воздушного промежутка: 1 – 40 мм; 2 – 100 мм; 3 – 200 мм

Основу конструкции измерительного стенда для определения коэффициента потерь составляет стержень ГВЛ (с сечением $0,0 \times 0,01$ м, длиной $l=0,74$ м), подвешенный на тонких нитях к перекрытию помещения.

Были использованы следующие приборы: генератор, усилитель, электродинамический возбудитель колебаний (ЭДВ), частотомер, виброметр. К подвешенной полосе ГВЛ был закреплен акселерометр на расстоянии от края, равном половине длины стержня. К краю листа подведен электродинамический возбудитель колебаний. С помощью виброметра на промежутке от 0 до 1000 Гц были определены частоты, на которых в конструкции возникает резонанс. После определения частоты резонанса и ширины ре-

зонансной кривой был рассчитан коэффициент внутренних потерь η по формуле (2), среднее значение которого составило $\eta=0,06$.

Для расчета звукоизоляции однослойных и двухслойных перегородок применим импедансный метод [3]. Основным понятием метода является входной импеданс, который определяется как отношение звукового давления к колебательной скорости на границе среды, откуда падают звуковые волны. Вторая среда может состоять из одного или нескольких слоев. Задача определения звукоизоляции и звукопоглощения импедансным методом сводится в конечном счете к нахождению отношения звуковых давлений перед и за перегородкой.

Звукоизоляцию от воздушного шума бесконечной однослойной преграды можно оценить по Р. Бергеру (закон массы):

$$R = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\omega m}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где m – масса пластины; $\rho_0 c_0$ – импеданс воздуха; $\omega=2\pi f$ – круговая частота.

Звукоизоляция свободно опертой конечной конструкции с учетом собственного резонанса определяется [3]:

$$R = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\omega_p m \eta}{2 \omega \rho_0 c_0} \right)^2 + \left(\frac{\omega m}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где η – коэффициент потерь; $\omega_p = \pi^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \sqrt{\frac{E h^2}{12 \rho (1 - \mu^2)}}$ – круговая резонансная частота (E – динамический модуль упругости; a и b – размеры пластины; h – толщина пластины; μ – коэффициент Пуассона).

Звукоизоляция бесконечной пластины при косом падении плоских звуковых волн с учетом волнового совпадения определяется как [3]:

$$R = 10 \lg \left\{ \left[1 + \eta \frac{\omega m \cos \vartheta_0}{2 \rho_0 c_0} \left(\frac{f}{f_{кр}} \right)^2 \sin^4 \vartheta_0 \right]^2 + \left(\frac{\omega m \cos \vartheta_0}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{f}{f_{кр}} \right)^2 \sin^4 \vartheta_0 \right]^2 \right\}, \quad (5)$$

где $f_{кр} = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}}$ – критическая частота (частота волнового совпадения); ϑ_0 – угол падения звуковой волны.

Для свободно опертой пластины с размерами $a=1$ м, $b=0,8$ м резонансная частота составит $f_p = \omega_p / \pi^2 = 26,3$ Гц.

«Провал» звукоизоляции на частоте волнового совпадения составляет $f_0=4000$ Гц, также он уменьшается по мере увеличения коэффициента внутренних потерь η (рис. 3).

Измерения звукоизоляции от воздушного шума однослойными и двухслойными конструкциями проводились в малых акустических камерах ТГАСУ, которые имеют два смежных помещения: помещение с источником звука – камера высокого уровня (КВУ) объемом $1,8$ м³ и изолируемое – камера низкого уровня (КНУ) объемом $4,6$ м³. Испытуемая конструкция монтировалась в проем между камерами.

Изоляция воздушного шума ограждающими конструкциями R определялась по результатам измерений:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg S/A, \quad (6)$$

где L_1 и L_2 – средние уровни звукового давления, измеренные в камерах высокого и низкого уровней соответственно,

дБ; S – площадь испытываемой конструкции, m^2 , в данном случае $S=0,8 m^2$; A – эквивалентная площадь звукопоглощения в изолируемом помещении, m^2 .

Эквивалентная площадь звукопоглощения определяется по формуле $A=(0,16 \cdot V)/T$, где V – объем изолируемого помещения, m^3 ; T – время реверберации этого помещения, с.

На рис. 4 приведены расчетная и экспериментальная кривые звукоизоляции гипсоволокнистой пластины толщиной 10 мм, которые в данном случае практически совпадают. Как правило, предельные отклонения расчетных значений звукоизоляции одностенных конструкций без покрытий от экспериментальных данных не превышают 5 дБ. Расчет звукоизоляции выполнен по методике СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».

Звукоизоляция двухслойной конструкции с воздушным слоем между пластинами определяется формулой:

$$R=10 \lg \left\{ 1 + \frac{(A+B)^2}{4Z_0^2} + \frac{AB}{Z_0^2} \left[\left(\frac{AB}{4Z_0^2} - 1 \right) \sin \varphi_2 - \frac{A+B}{4Z_0^2} \cos \varphi_2 \right] \sin \varphi_2 \right\}. \quad (7)$$

В формуле (10) использованы следующие обозначения:

$$\varphi_2 = k_0 d \cos \vartheta_0; \quad A = \omega m_1 \left[1 - (f/f_{кр})^2 \sin^4 \vartheta_0 \right] = \omega m_1 v_1;$$

$$B = \omega m_2 \left[1 - (f/f_{кр})^2 \sin^4 \vartheta_0 \right] = \omega m_2 v_2,$$

где d – расстояние между пластинами; $f_{кр1}$ и $f_{кр2}$ – критические частоты первой и второй пластин.

Частота f_p – резонансная частота системы масса – упругость – масса (m_1 и m_2 – массы; c_0 – упругость слоя воздуха между пластинами). Резонансная частота перемещается в сторону низких частот при увеличении воздушного промежутка d и масс пластин m_1 и m_2 . В реальных двухслойных конструкциях звуковые волны падают на конструкцию под различными углами. Если принять средний угол падения звуковых волн $\vartheta_0=45^\circ$, то получим расчетную формулу:

$$f_p = 85 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}, \quad (8)$$

где d , м; m_1 и m_2 , кг/ m^2 .

Для двойной гипсоволокнистой перегородки с плотностью $\rho=\rho_1=\rho_2=1240$ кг/ m^3 , толщиной $h_1=h_2=0,01$ м каждой ветви и воздушным промежутком $d=0,04$ м резонансная частота составит $f_p=170$ Гц.

Двухслойная конструкция с воздушным слоем между пластинами на низких частотах вплоть до резонансной частоты, определяемой формулой (8), не имеет преимуществ перед однослойной конструкцией равной массы с точки зрения звукоизоляции. Увеличение звукоизоляции двухслойной конструкции проявляется на средних и высоких частотах, лежащих выше резонансной частоты системы масса – упругость – масса примерно на октаву.

При дальнейшем повышении частоты наступает максимум звукоизоляции по формуле [3]:

$$R \approx 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\omega m_1 v_1 \cos \vartheta_0}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \right] + 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\omega m_2 v_2 \cos \vartheta_0}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \right] = R_1 + R_2, \quad (9)$$

затем минимум звукоизоляции по формуле [3]:

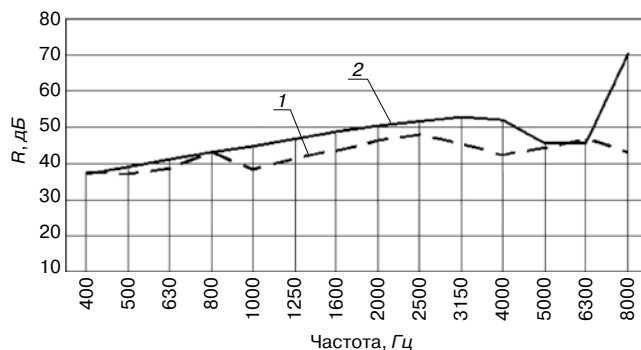


Рис. 6. Расчетная и экспериментальная частотные зависимости звукоизоляции двухслойной конструкции из гипсоволокнистых пластин толщиной 10 мм с воздушным промежутком 40 мм между ними: 1 – измеренная частотная характеристика звукоизоляции ($R_w=42$ дБ); 2 – расчетная частотная характеристика звукоизоляции ($R_w=45$ дБ)

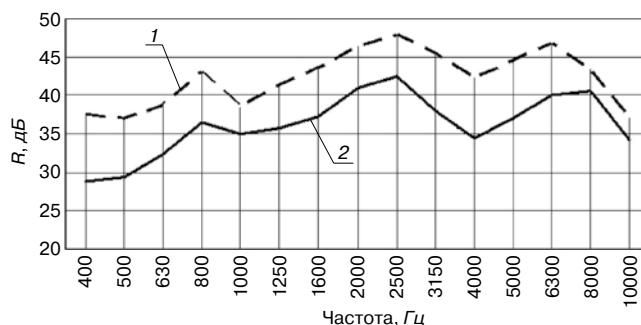


Рис. 7. Результаты испытаний звукоизоляции двухслойных конструкций из гипсоволокнистых пластин толщиной 10 мм и с воздушным промежутком 40 мм между ними с различными способами крепления: 1 – крепление на изолоне по контуру ($R_w=42$ дБ); 2 – контур пластин на растворе ($R_w=34$ дБ)

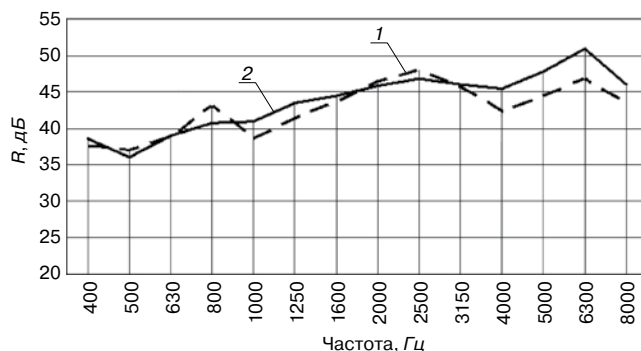


Рис. 8. Результаты измерений звукоизоляции двухслойной конструкции со звукопоглощающим материалом без него: 1 – двухслойная конструкция без звукопоглотителя ($R_w=42$ дБ); 2 – между пластинами слой минеральной ваты 40 мм ($R_w=45$ дБ)

$$R \approx 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\omega m_1 v_1 \cos \vartheta_0}{2 \rho_0 c_0} + \frac{\omega m_2 v_2 \cos \vartheta_0}{2 \rho_0 c_0} \right)^2 \right] \approx 20 \lg (10^{R_1/20} + 10^{R_2/20}) \quad (10)$$

и т. д.

Если звукоизоляция обеих пластин определяется законом массы, то минимальные ее значения по формуле (10) практически определяют звукоизоляцию однослойной конструкции с суммарной массой обеих пластин.

Таким образом, для двухстенных конструкций, состоящих из двух тонких пластин и слоя воздуха между ними, по

мере повышения частоты системы масса – упругость – масса в область средних и высоких частот звукоизоляция имеет вид широких максимумов в районе антирезонансных частот воздушного слоя, равных практически звукоизоляции однослойной конструкции с суммарной массой обеих пластин. Следовательно, в области средних и высоких частот реальная двухстенная конструкция имеет явное преимущество перед одностенной конструкцией равной массы, так как ее звукоизоляция увеличивается за счет широких максимумов в области антирезонансных частот.

На рис. 5 показаны частотные зависимости звукоизоляции двухслойной конструкции из гипсоволокнистых пластин толщиной 10 мм с различными толщинами воздушного слоя между ними. Звукоизоляция рассчитана по формуле (7), а минимальные значения определены по формуле (10). Увеличение толщины воздушного слоя смещает резонансные частоты системы масса – упругость – масса и резонансные частоты воздушного слоя в область низких частот.

По результатам исследований разработаны методики расчета звукоизоляции двухслойной перегородки с воздушным промежутком (программа Excel).

Расчет звукоизоляции R от воздушного шума такой конструкции в соответствии с предложенной методикой выполнялся по формуле:

$$\frac{p_{11}}{p_{31}} = \left| e^{-ik_0 d \cos \nu_0} \left[\left(1 + \frac{Z_{B1}}{2Z_0} \right) \left(1 + \frac{Z_{B1}}{2Z_0} \right) e^{ik_0 d \cos \nu_0} \frac{Z_{B1} Z_{B2}}{4Z_0^2} e^{-ik_0 d \cos \nu_0} \right] \right|^2 \quad (11)$$

На рис. 6 приведены построенная расчетная и экспериментальная зависимости звукоизоляции двухслойной кон-

струкции из гипсоволокнистых пластин толщиной 10 мм с толщиной 40 мм воздушного слоя между ними, которые достаточно близки по значению, что позволяет использовать данную формулу для расчета звукоизоляции двухслойных перегородок.

Разность звукоизоляций конструкции при ее различном креплении составляет величину порядка 2–8 дБ (рис. 7).

На высоких частотах звукопоглощающий материал, помещенный между двумя пластинами, ликвидировал провалы минимумов звукоизоляции двухслойной конструкции вблизи резонансных частот воздушного слоя и обусловил дополнительную звукоизоляцию, независимую от резонанса воздушного промежутка (рис. 8). Полученная закономерность имеет практическое значение, так как увеличения звукоизоляции можно достигнуть почти без увеличения массы двухслойной конструкции. Таким образом, звукопоглощающий материал в двухслойной перегородке позволяет увеличить индекс изоляции воздушного шума на 3 дБ.

Список литературы

1. Fasold W., Veres E. Shallschutz und Raumakustik in der Praxis. Berlin: Verlag fur Bauwesen, 1998. 376 p.
2. Овсянников С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2000. 378 с.
3. Боголепов И.И. Архитектурная акустика. Л.: Судостроение. 2001. 160 с.

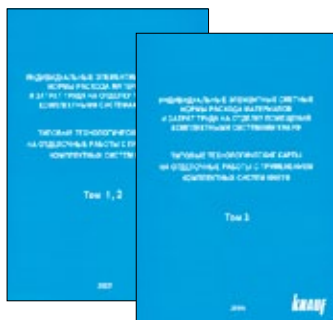
В издательстве «Стройматериалы» Вы можете приобрести специальную литературу



Альбом «Малозэтажные дома. Примеры проектных решений»

Авторы – академик РААСН Л.В. Хихлуха, канд. архитектуры Н.М. Согомонян, архитекторы Ю.В. Лопаткин, И.Л. Хихлуха

Альбом включает разделы: «Односемейные жилые дома», «Многосемейные жилые дома», «Эстетические качества жилища», «Градостроительные группы». Предназначен для архитекторов, специалистов, занятых вопросами жилищного строительства, для органов исполнительной власти в области архитектуры и строительства, а также для частных застройщиков; может быть использован как методическое пособие для студентов вузов.



«Типовые технологические карты на отделочные работы с применением комплектных систем КНАУФ». Том 1, 2, 3.

Разработаны ОАО «Тулаоргтехстрой», ООО «Кнауф Сервис», ООО «Кнауф Гипс Маркетинг».

Издание включает индивидуальные элементные сметные нормы расхода материалов и затрат труда на устройство перегородок, облицовок стен и подвесных потолков с использованием гипсокартонных и гипсоволокнистых листов; на штукатурные работы гипсовыми смесями Кнауф; на устройство сборных оснований под покрытия пола Кнауф ОП 13.

Технологические карты содержат ведомость потребности в материалах и изделиях и калькуляцию трудовых затрат, полный перечень необходимого инвентаря, приспособлений и инструмента.

**Для приобретения специальной литературы обращайтесь в издательство «Стройматериалы»
Тел./факс: (499) 976-22-08, 976-20-36 E-mail: mail@rifsm.ru www.rifsm.ru**

УДК 53.084.846

Н.Н. МИНИНА, канд. техн. наук, Институт комплексного транспортного проектирования, Санкт-Петербург; Н.И. ИВАНОВ, д-р техн. наук, В.А. КОРНИЛОВ, инженер, Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург

Расчет акустической эффективности искусственных сооружений

Разработан метод расчета акустической эффективности искусственных сооружений (насыпи, эстакады, выемки, акустические экраны) взамен метода, базирующегося на числе Френеля. В расчетных формулах используются понятия коэффициента дифракции и эффективной высоты искусственных сооружений (ИС). При расчетах также учитываются акустические свойства и геометрические параметры ИС. Приведены формулы расчета, дан пример сравнения предложенного метода с данными эксперимента.

Ключевые слова: акустическая эффективность, искусственные сооружения, оценка, коэффициент дифракции, эффективная высота.

При сооружении автомобильных и железных дорог широко используются эстакады, выемки и насыпи. Эти устройства наряду с акустическими экранами (АЭ) являются эффективными средствами защиты от повышенного шума, распространяющегося от автотранспорта и подвижного состава железнодорожного транспорта к жилой застройке. Для расчетов снижения шума этими сооружениями используется метод Френеля, в основу которого положена геометрическая акустика. Данные расчетов по этой методике для приблизительно одинаковых параметров приведены в табл.1.

В табл. 1 можно выделить две группы ИС: применение АЭ, насыпи, выемки и края эстакады (№№ 1–4) с примерно одинаковыми параметрами высоты (АЭ, насыпь, выемка) или ширины (эстакада); применение АЭ, установленного на краю эстакады, выемки, насыпи (№№ 5–7).

В первой группе отмечаем, что при расчетах с использованием числа Френеля разница в эффективности между наиболее эффективной конструкцией (насыпь) и наименее (выемка) невелика и составляет всего около 8 дБА. Это противоречит значениям, которые приводятся в литературе, где указываются большие значения. Также представляется заниженной разница в эффективности ИС первой группы (№№ 2–4) и второй (№№ 5–7), составляющая незначительную величину (0,5 дБА), например, для насыпи. Таким образом, необходимо разрабатывать новые методы акустического расчета ИС.

С использованием основных положений волновой, геометрической и статистической теорий акустики предложен новый метод расчета эффективности ИС. Под акустической эффективностью подразумевается:

Таблица 1
Сравнительные расчетные данные снижения шума ИС

№№ п/п	Схема с величинами высоты	Число Френеля	Снижение шума, дБА
1		12,8	24,2
2		21,2	26,3
3		2,9	17,7
4		10,1	23,1
5		18,3	25,6
6		19,4	25,9
7		24,7	26,9

1 – источник шума; 2 – акустический экран (АЭ); 3 – расчетная точка; 4 – насыпь; 5 – выемка; 6 – край эстакады; 7 – эстакада

Таблица 2

Наименование ИС	Коэффициент дифракции, $\beta_{\text{дифр}}$	Значение $10\lg\beta_{\text{дифр}}$, дБ (или $20\lg\beta_{\text{дифр}}$, дБ)
АЭ на эстакаде	$\frac{1}{2\pi}$	$10\lg\frac{1}{2\pi} = -8$
Выемка	$\frac{1}{\pi}$	$10\lg\frac{1}{\pi} = -5$
АЭ на краю выемки	$\frac{1}{2\pi}$	$10\lg\frac{1}{2\pi} = -8$
Насыпь	$\frac{1}{\pi}$ (двойная дифракция)	$20\lg\frac{1}{\pi} = -10$
АЭ на насыпи	$\frac{1}{\pi}$ (двойная дифракция)	$20\lg\frac{1}{\pi} = -10$

$$\Delta L_{\text{ИС}} = 10\lg \frac{I_{\text{РТ}}^{б/ИС}}{I_{\text{РТ}}^{с/ИС}}, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где: $I_{\text{РТ}}^{б/ИС}$ – интенсивность звука в расчетной точке (РТ) без применения ИС, Вт/м²; $I_{\text{РТ}}^{с/ИС}$ – интенсивность звука в РТ с применением ИС в качестве шумозащиты, Вт/м².

В расчетах предложено использовать коэффициент дифракции ИС ($\beta_{\text{дифр}}^{\text{ИС}}$) и эффективной высоты ИС ($h_{\text{эф}}^{\text{ИС}}$). Под коэффициентом дифракции понимается отношение интенсивности звука, дифрагированного через ИС (ребро АЭ, край выемки или насыпи), интенсивности падающего на ИС звука.

$$\beta_{\text{дифр}}^{\text{ИС}} = \frac{I_{\text{дифр}}^{\text{ИС}}}{I_{\text{пад}}^{\text{ИС}}}. \quad (2)$$

Принятые значения коэффициентов дифракции для различных ИС приведены в табл. 2.

Эффективная высота введена взамен понятия высоты ИС и получена геометрическими методами. Значения эффективных высот ИС приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ пп	Наименование	Расчетная схема	Обозначение на схеме	Значение эффективной высоты
1	АЭ на эстакаде		1 – источник шума; 2 – эстакада; 3 – АЭ; 4 – защищаемый объект (4 тж при расположении ИШ и защищаемого объекта на одной поверхности); 6 – поверхность на которой расположена эстакада, и защищаемый объект 6 – поверхность на которой расположен ИШ и защищаемый объект)	$h_{\text{эф}}^{\text{э(экр)}} = h_{\text{экр}} + h \sin\varphi$ $\varphi = \theta_2 - \theta_1$
2	Выемка		1 – ИШ; 2 – РТ; 3 – здание; 4 – поверхность; 5 – выемка, 2,3 – РТ, и здание на одной плоскости с ИШ 4 – условная поверхность на которой располагается ИШ	$h_{\text{эф}}^{\text{в}} = h_{\text{в}} + h_{\text{в}} \sin\varphi_{\text{в}}$
3	АЭ на краю выемки		1 – ИШ, 2 – РТ, 3 – здание; 4 – поверхность; 5 – выемка, 6 – АЭ на краю выемки	$h_{\text{эф}}^{\text{э(экр)}} = h_{\text{эф}}^{\text{в}} + h_{\text{экр}}$
4	Насыпь		1 – ИШ; 2 – насыпь; 3 – здание; 4 – РТ; 5 – поверхность	$h_{\text{эф}}^{\text{н}} = h_{\text{н}} + h_{\text{н}} \sin\varphi_{\text{н}}$
5	АЭ на противоположном ИШ краю насыпи		1 – ИШ; 2 – насыпь; 3 – АЭ; 4 – здание; 5 – РТ; 6 – поверхность	$h_{\text{эф}}^{\text{э(экр)}} = h_{\text{экр}} + h_{\text{н}} \sin\varphi_{\text{н}}^{\text{экр}}$ $\varphi_{\text{н}}^{\text{экр}} = \theta_2 - \theta_1$

Таблица 4

Акустическая эффективность ИС

	Расчетная схема	Обозначения на схеме	Формула расчета
1		1 – источник шума; 2 – акустический экран; 3 – эстакада; 4 – расчетная точка; 5 – подстилающая (опорная) поверхность.	$\Delta L_{y\ddot{a}o}^i = 10 \lg \frac{h_{y\ddot{a}o}^i}{\lambda} + 10 \lg \frac{\sqrt{(h_{y\ddot{a}o} + h_p)^2 + R_p^2}}{R_p} - 10 \lg(1 - \alpha_{y\ddot{a}o}) -$ $- 10 \lg \beta_{\ddot{a}o}^i + 10 \lg \arctg \frac{l_{y\ddot{a}o}}{2R_p} - 10 \lg \arctg \frac{l_{y\ddot{a}o}}{2h_{y\ddot{a}o}} -$ $- 10 \lg \arctg \frac{l_{y\ddot{a}o}}{\sqrt{(h_{y\ddot{a}o} + h_p)^2 + R_p^2}} - 2, \ddot{a}\ddot{A}$
2		1 – источник шума; 2 – выемка; 3 – расчетная точка.	$\Delta L_{\ddot{a}} = 10 \lg \frac{h_{\ddot{a}}^i}{\lambda} - 10 \lg(1 - \alpha_{\ddot{a}}) - 10 \lg \beta_{\ddot{a}o}^i - 10 \lg \arctg \frac{l_{\ddot{a}}}{2h_{\ddot{a}}^i} + 2, \ddot{a}\ddot{A}$
3		1 – источник шума; 2 – насыпь; 3 – расчетная точка.	$\Delta L_i = 10 \lg \frac{h_{y\ddot{a}o}^i}{\lambda} + 10 \lg \frac{\ddot{a}_i}{\ddot{a}_0} + 10 \lg \frac{R_i}{R_{\ddot{a}o}} - 10 \lg(1 - \alpha_i) -$ $- 20 \lg \beta_{\ddot{a}o}^i + 10 \lg \arctg \frac{l_i}{2R_{\ddot{a}o}} - 10 \lg \frac{l_i}{2\ddot{a}_i} - 10 \lg \frac{l_i}{2R_i} + 10, \ddot{a}\ddot{A}$

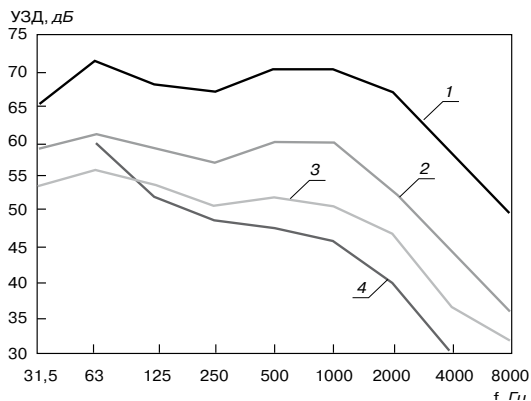


Рис. 1 Экспериментальные (1–3) и расчетные данные эффективности выемки глубиной 10 м при движении автотранспорта: 1 – 7,5 м от оси движения; 2 – на краю выемки; 3 – на расстоянии 15 м от края выемки; 4 – расчет, на расстоянии 15 м от края выемки

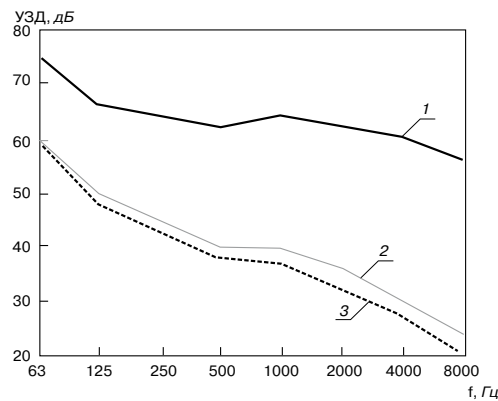


Рис. 2. Экспериментальные (1,2) и расчетные (3) данные снижения шума насыпью: 1 – спектр шума стройплощадки; 2 – измеренный спектр шума за насыпью; 3 – расчетный спектр за насыпью

Чтобы понять характер эффективной высоты ($h_{эф}$) покажем, что, например, для схемы 1 в табл. 3 значение $h_{эф}$ выше, чем высоты АЭ, но ниже, чем суммарной высоты АЭ ($h_{экp}$) и эстакады ($h_э$), т. е. $h_{экp} < h_{эф} < h_{экp} + h_э$. Введение понятия $h_{эф}$ увеличивает точность акустических расчетов.

Формулы расчетов акустической эффективности основных типов ИС приведены в табл. 4.

где, $h_{эф}^{экp}$ – эффективная высота АЭ, установленного на эстакаде, м;

λ – длина звуковой волны, м;

$h_{экp}$ – высота АЭ, м;

$h_э$ – высота эстакады, м;

R_p – расстояние от эстакады до РТ, м;

$\alpha_{экp}$ – коэффициент звукопоглощения акустического экрана (АЭ);

$l_{экp}$ – длина АЭ, м;

$\beta_{\ddot{a}o}^{экp}$ – коэффициент дифракции АЭ;

$\beta_{\ddot{a}o}^в$ – коэффициент дифракции выемки;

$h_{эф}^в$ – эффективная высота выемки, м;

$R_в$ – расстояние от вершины выемки до РТ, м;

$l_в$ – длина выемки, м;

$\beta_{\ddot{a}o}^{н}$ – коэффициент дифракции насыпи;

B_n – ширина насыпи, м;

l_n – длина насыпи, м;

$h_{эф}^{н}$ – эффективная высота насыпи, м;

R_n – расстояние от насыпи до РТ, м;

На рис. 1 и 2 приведены сравнительные данные расчетов и экспериментов снижения ИС.

Данные расчетов и экспериментов удовлетворительно совпадают друг с другом. Предложенный метод расчета акустической эффективности ИС может быть рекомендован для практических расчетов.

Список литературы

1. Минина Н.Н. Новая методика расчета шума автотранспорта. Сборник трудов III научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия» СПб 2011 г., С. 549–554.
2. Иванов Н.И. Инженерная акустика: Теория и практика борьбы с шумом: М.: Университетская книга, Логос, 2008. 424 с.

УДК 699.844

П.А. ГРЕБНЕВ, магистр техники и технологии, Д.В. МОНИЧ, канд. техн. наук,
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Исследование звукоизолирующих свойств многослойных ограждений с жестким наполнителем

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований звукоизоляции многослойных ограждающих конструкций с жестким наполнителем. Предложен новый тип ограждающей конструкции со средним слоем из массивного материала. Показано, что разработанный новый тип многослойных ограждающих конструкций обладает значительными резервами повышения звукоизоляции.

Ключевые слова: звукоизоляция, сэндвич-панель, многослойные панели, изгибные волны.

Одной из основных задач современного строительства является создание ограждающих конструкций с высокими звукоизоляционными свойствами, которые обеспечивают требуемую защиту от шума в помещениях гражданских и промышленных зданий. При этом одним из важнейших критериев является снижение массы и толщины ограждений. Данную задачу позволяет решить применение многослойных конструкций (рис. 1), имеющих внешние облицовки и слой жесткого наполнителя между ними (заполнитель и облицовки жестко соединены между собой, например клеены). Применение жесткого наполнителя позволяет обеспечить выполнение требований по прочности и устойчивости конструкций без устройства внутреннего каркаса. Ранее на кафедре архитектуры ННГАСУ была исследована звукоизоляция трехслойных ограждений [1].

Кроме широко известных в строительной практике типов сэндвич-панелей с относительно массивными облицовками (металлические листы, древесно-стружечные плиты и т. п.) и легким средним слоем (пенополиуретан, пенополистирол и т. п.) в данной работе предложен новый тип ограждений с массивным средним слоем из материалов, широко применяемых в строительстве (гипс, цементно-песчаный раствор и т. п.). Данные ограждения обладают значительными преимуществами по сравнению с традиционными сэндвич-панелями по таким важным параметрам, как пожарная безопасность, прочность и устойчивость, технологичность изготовления и монтажа, в том числе непосредственно на строительной площадке.

Для предложенного нового типа многослойных ограждающих конструкций необходимо определить оптимальные физико-механические параметры с учетом современных нормативных требований по звукоизоляции для объектов гражданского и промышленного строительства.

Рассмотрим трехслойное ограждение (панель), на которое действует диффузное звуковое поле. Для этого уравнение свободных колебаний трехслойной панели запишем в виде [1, 2]:

$$C_u^6 C_s^2 + C_u^4 C_3^4 - C_u^2 C_2^4 C_s^2 - C_1^4 C_3^4 = 0, \quad (1)$$

где $C_1 = \sqrt{\omega^4 \frac{(F - TLh_3)}{\mu}}$; $C_2 = \sqrt{\omega^4 \frac{(F + T)}{\mu}}$; $C_3 = \sqrt{\omega^4 \frac{N}{\mu}}$

– скорости изгибных волн в однослойных пластинах с цилиндрическими жесткостями $F - \frac{TLh_3}{N}$, $F + T$, N соответственно; $C_s = \sqrt{\frac{S}{\mu}}$ – скорость сдвиговых волн наполнителя, нагруженного массами внешних облицовочных слоев; C_u – скорость изгибных волн в трехслойной панели; F , T , L , N , S – жесткостные параметры панели; μ – поверхностная плотность панели; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота колебаний.

На рис. 2, 3 представлены дисперсионные кривые для сэндвич-панелей с различными типами среднего слоя – легким и массивным соответственно. На рисунках использованы следующие обозначения: ω_1 , ω_2 – граничные частоты, соответствующие диапазонам изменения характера кривой C_s ; f_{rnn} – граничная частота области полных пространственных резонансов трехслойной панели [1].

Анализируя дисперсионные кривые для сэндвич-панели с легким наполнителем из пенополистирола (рис. 2), можно заключить, что в диапазоне низких и средних частот ($f = 80$ – 800 Гц) $C_u \approx C_s$, на высоких частотах (выше частоты ω_2) колебания пластины в основном определяются изгибными колебаниями облицовок, нагруженных массой среднего слоя.

Для ограждения с массивным наполнителем на основе гипса (рис. 3) в диапазоне низких и средних частот ($f = 50$ – 800 Гц), вплоть до частоты ω_1 , дисперсионная кривая асимптотически приближается к кривой C_3 , а на частотах выше ω_1 – к кривой C_s .

Для проверки результатов теоретических исследований в малых реверберационных камерах лаборатории акустики ННГАСУ проведены экспериментальные исследования зву-

коизоляции трехслойных ограждающих конструкций с облицовками из стальных листов толщиной по 1,3 мм и наполнителем из пенополистирола и гипса толщиной 30 мм и 22 мм соответственно. Полученные частотные характеристики звукоизоляции приведены на рис. 4 и 5.

Анализируя частотные характеристики (рис. 2–5), можно заключить, что для трехслойных панелей с наполнителем из пенополистирола и гипса частота полно-

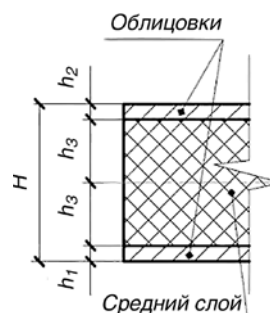


Рис. 1. Схема многослойного ограждения (сэндвич-панели)

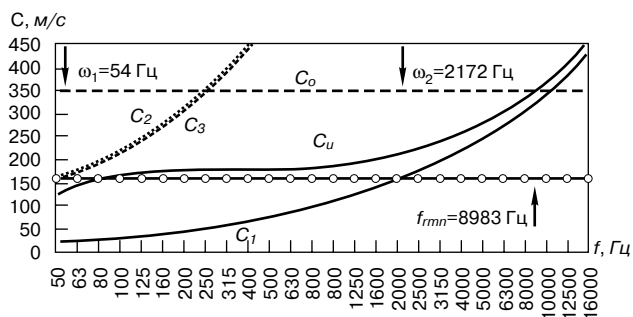


Рис. 2. Дисперсионные кривые сэндвич-панели с облицовками из стальных листов толщиной по 1,3 мм и заполнителем из пенополиуретана толщиной 30 мм

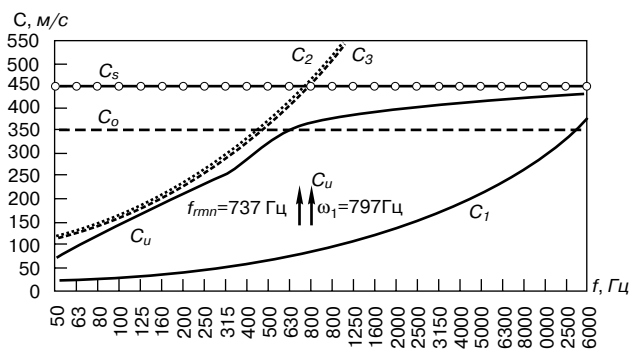


Рис. 3. Дисперсионные кривые сэндвич-панели с облицовками из стальных листов толщиной по 1,3 мм и заполнителем из гипса толщиной 22 мм



Рис. 4. Частотные характеристики звукоизоляции трехслойной панели размерами 1130 × 580 мм с облицовками из стальных листов толщиной по 1,3 мм и средним слоем из пенополистирола толщиной 30 мм

го пространственного резонанса, полученная в результате расчета, совпадает с экспериментальными данными.

Из сравнения частотных характеристик (рис. 4, 5) можно заключить, что звукоизоляция классических сэндвич-панелей с легким средним слоем сильно снижается в области резонансной частоты системы масса–упругость–масса (f_p), которая для таких конструкций находится в области средних частот ($f_p=1250$ Гц). Для нового типа конструкций с массивным средним слоем из гипса резонансная частота f_p находится в области низких частот ($f_p=125$ Гц) и не оказывает значительного негативного эффекта на звукоизоляцию в диапазоне средних частот.

Также можно видеть, что звукоизоляция трехслойной панели со средним слоем из гипса выше звукоизоляции однослойной гипсовой плиты на 5–10 дБ в широком диапазоне частот (500–8000 Гц). Данный эффект вызван не только увеличением поверхностной плотности трехслойного ограждения по сравнению с однослойным, но и повышением эффективности его работы как комплексной звукоизолирующей конструкции.

Таким образом, разработанный новый тип многослойных ограждающих конструкций обладает значительными резервами повышения звукоизоляции. Данные резервы могут использоваться для проектирования эффективных ограждающих конструкций с различным набором облицо-



Рис. 5. Сравнение частотных характеристик звукоизоляции трехслойной панели с облицовками из стальных листов толщиной по 1,3 мм и средним слоем из гипса толщиной 22 мм и однослойной плиты из гипса толщиной 22 мм (размер образцов 1130 × 580 мм)

вок (гипсоволокнистые, гипсокартонные листы и др.) и массивным средним слоем. Подбор элементов панелей должен производиться на основании расчета оптимальных физико-механических параметров с учетом спектра изолируемого шума. Подходы к решению данной задачи для однослойных ограждений рассмотрены в работе [4].

Список литературы

1. Седов М.С., Юлин В.И., Кочкин А.А. Расчет звукоизоляции облегченных ограждающих конструкций. Горький: ГИСИ им. В.П. Чкалова, 1985. 55 с.
2. Кочкин А.А. О проектировании звукоизоляции легких ограждений с промежуточным вибродемпфирующим слоем // ACADEMIA. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 191–193.
3. Балишанская Л.Г., Дроздова Л.Ф., Иванов Н.И., Седов М.С. Техническая акустика транспортных машин: Справочник. СПб: Политехника, 1992. С. 68–105.
4. Бобылев В.Н., Тишков В.А., Мониц Д.В. Повышение звукоизоляции ограждающих конструкций зданий при диффузном и направленном падении звука // Приволжский научный журнал. 2007. № 1(1). С. 23–28.

УДК 534.2

*В.П. ГУСЕВ, д-р техн. наук, ННИИСФ РААСН (Москва); О.А. ЖОГОЛЕВА, магистрант,
В.И. ЛЕДЕНЕВ, д-р техн. наук, Е.О. СОЛОМАТИН, инженер,
Тамбовский государственный технический университет*

Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования

Описан предлагаемый комбинированный метод расчета уровней звукового давления в крупногабаритных каналах систем вентиляции гражданских зданий. Метод учитывает смешанный зеркально-диффузный характер отражения звука от стен канала. Для реализации метода разработана компьютерная программа.

Ключевые слова: крупногабаритные каналы, комбинированный метод расчета, статистические энергетические методы расчета, шум, уровни звукового давления.

В общественных и административных зданиях применяются крупные системы вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха (ОВК) с магистральными крупногабаритными воздушными каналами (воздуховодами). Оборудование систем ОВК создает, как правило, повышенный шум, распространяющийся от источников (вентиляторов, дросселирующих устройств, фасонных элементов и др.) по каналам в обслуживаемые помещения, а через их стенки в окружающее пространство (открытое или замкнутое). Для оптимальной с точки зрения акустики и экономики защиты от этого шума требуется достаточно точное представление о распространении звуковой энергии в указанных каналах систем ОВК и ее снижении.

При оценке распространения звуковой энергии в обычных (малых и средних) вентиляционных каналах, имеющих небольшие поперечные сечения, применяются приближенные формулы, основанные на принципах волновой акустики. Воздушный канал при этом рассматривается как волновод определенного размера. При больших габаритах каналов применение этих формул ограничивается диапазоном низких частот. Для оценки уровней звукового давления в области средних и высоких частот предлагается использовать новый метод расчета. Суть его заключается в отдельном рассмотрении распространения прямой и отраженной составляющих уровней шума с последующим их суммированием.

Источниками шума внутри каналов может быть отдельное точечное оборудование, а также входные отверстия каналов. В первом случае плотность прямой энергии может определяться как:

$$\varepsilon_{\text{пр}i} = \frac{P}{c\Omega r_i^2}, \quad (1)$$

где r_i – расстояние от источника шума со звуковой мощностью P до i -й расчетной точки канала; Ω – пространствен-

ный угол излучения звуковой энергии источником шума в канале; c – скорость звука.

Во втором случае расчет плотности прямой звуковой энергии производится по формуле:

$$\varepsilon_{\text{пр}i} = P/cS_i, \quad (2)$$

где S_i – площадь воображаемой поверхности в виде параллелепипеда со скругленными ребрами, опирающегося на сечение в месте излучения энергии в канал и проходящего через расчетное сечение:

$$S_i = ab + \pi r_i(a+b) + 2\pi r_i^2, \quad (3)$$

a, b – размеры сечения канала; r_i – расстояние от сечения в месте ввода энергии до i -го расчетного сечения канала.

Распространение отраженной звуковой энергии в каналах имеет свои характерные особенности и зависит от формы, сечения канала, соотношения его размеров, звукопоглощения ограждений, а также от характера отражения звука от них.

Характер отражения звука от поверхностей существенно влияет на выбор методов расчета отраженной звуковой энергии. Ранее установлено [1], что отражение звука от поверхностей ограждений, в том числе каналов, имеет смешанный характер, при котором часть звуковой энергии отражается по закону зеркального отражения, а другая часть отражается диффузно.

Данное обстоятельство привело к необходимости использовать при расчете отраженной звуковой энергии комбинированный метод. В этом случае распределение зеркально отраженной энергии определяется с использованием метода прослеживания звуковых лучей [2], а распределение плотности диффузно отраженной энергии оценивается численным методом, основанным на статистическом энергетическом подходе к распространению отражен-

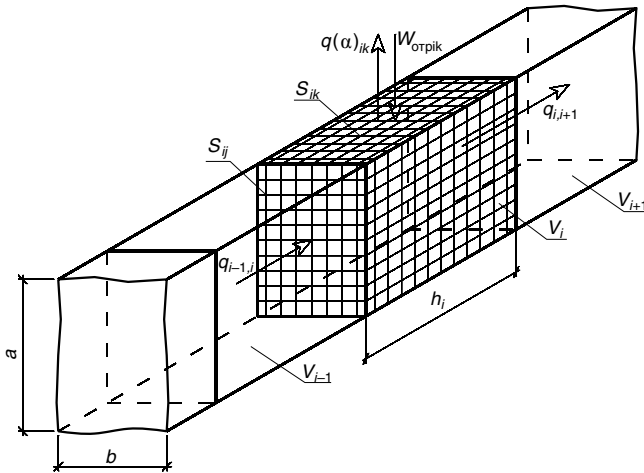


Рис. 1. Схема разбиения канала на элементарные объемы

ной звуковой энергии [3]. Суммарная плотность отраженной звуковой энергии в любой i -й точке канала определяется плотностью зеркально отраженной энергии $\varepsilon_{лi}$ и плотностью диффузно отраженной энергии $\varepsilon_{дi}$:

$$\varepsilon_{отри} = \varepsilon_{лi} + \varepsilon_{дi}. \quad (4)$$

При этом суммарный уровень звукового давления вычисляется как:

$$L_i = 10 \lg [c(\varepsilon_{прi} + \varepsilon_{лi} + \varepsilon_{дi}) / I_0], \quad (5)$$

где I_0 – интенсивность звука на пороге слышимости; c – скорость звука; $\varepsilon_{прi}$ – плотность прямой звуковой энергии в i -й точке канала.

Выполненные экспериментальные исследования [4] показывают, что плотность отраженной звуковой энергии в поперечном сечении каналов изменяется незначительно в сравнении с ее изменениями по длине канала. Подобное распределение энергии позволяет считать отраженное звуковое поле в них одномерным $\varepsilon_{отр}=f(x)$ и тем самым существенно упростить методику расчета уровней звукового давления комбинированным методом. Методика в этом случае включает следующие основные операции:

- канал разбивается поперечными сечениями на элементарные объемы со сторонами a , b и h (рис. 1) и определяются узловые точки одномерной сетки;
- для каждой точки определяются плотность энергии прямого звука $\varepsilon_{прi}$ и плотность лучевой энергии $\varepsilon_{лi}$;
- находится величина диффузно отраженной энергии в объемах, вносимая в них лучами, падающими на ограждения канала в пределах элементарного объема, и для всех объемов записываются уравнения балансов диффузно отраженной энергии с учетом граничных условий;
- путем выражения через значения сеточной функции аппроксимируются все члены, входящие в уравнение баланса диффузно отраженной звуковой энергии, и производится решение полученной системы алгебраических уравнений;
- после решения системы находится суммарная плотность энергии, равная сумме плотностей прямой, лучевой и диффузно отраженной энергий.

Для определения плотности энергии зеркально отраженных звуковых лучей $\varepsilon_{лi}$ в комбинированном методе ис-

пользуется способ прослеживания лучей, в котором рассматриваются лучи, имеющие бесконечно малые пространственные углы распространения. Энергия каждого луча после его прохождения на расстояние R_i от места излучения определяется как:

$$W_{лi} = \frac{P}{N} \exp(-m_b R_i) \prod_{p=1}^n \rho_p \xi^n, \quad (6)$$

где P – звуковая мощность источника; N – количество лучей, исходящих из источника; $\rho_p = 1 - \alpha_p$; α_p – коэффициент звукопоглощения p -й поверхности ограждения, на которую падал прослеживаемый луч; n – количество актов падения луча на p -ю поверхность при распространении его на расстояние R_i до i -го элементарного объема; ξ – доля энергии, направляемая по лучу после его отражения от поверхности ограждения; m_b – пространственный показатель затухания звуковой энергии в воздухе.

Количество энергии в i -м объеме канала равна сумме энергий лучей m , прошедших через него, и ее плотность определяется как:

$$\varepsilon_{лi} = \sum_{a=1}^m W_{лi} / cF, \quad (7)$$

где F – приведенная площадь сечения элементарного объема.

Для оценки распределения плотности диффузно отраженной энергии используется метод энергетических балансов [3]. Суть метода заключается в составлении уравнений баланса диффузно отраженной энергии для каждого элементарного объема канала. Распределение энергии находится из решения системы уравнений.

Для каждого элементарного объема баланс отраженной энергии записывается как:

$$(q_{i-1,j} - q_{i,j+1})S_i + \sum_{k=1}^{6-M} W_{отри́к} - \sum_{k=1}^{6-M} q(\alpha)_{ik} S_{ik} - c m_b \varepsilon_{дi} V_i = 0. \quad (8)$$

здесь $(q_{i-1,j} - q_{i,j+1})$ – разность потоков энергии, входящих в i -й объем и выходящих из него по поперечному сечению $S_i = a \cdot b$; $q(\alpha)_{ik}$ – поток диффузно отраженной энергии, поглощаемый на k -ой поверхности i -го объема, являющейся поверхностью канала с площадью S_{ik} ; $W_{отри́к}$ – диффузная энергия, приходящая в i -й объем после отражения луча от k -ой поверхности и перехода части энергии луча в диффузную энергию; M – количество объемов, контактирующих с i -м объемом; $6-M$ – количество граней i -го объема, являющихся поверхностями ограждений канала; $V_i = a \cdot b \cdot h$ – объем i -го элементарного параллелепипеда; $\varepsilon_{дi}$ – плотность диффузно отраженной энергии в i -м объеме.

Потоки энергии $q_{i-1,j}$ и $q_{i,j+1}$ определяются как:

$$q_{i-1,j} = \eta(\varepsilon_{д,i-1} - \varepsilon_{дi}) / h; \quad q_{i,j+1} = \eta(\varepsilon_{дi} - \varepsilon_{д,i+1}) / h_i, \quad (9)$$

где $\eta = 0,5cI_{ср}$ – коэффициент связи потока и градиента плотности в квазидиффузном звуковом поле [3]; $I_{ср}$ – длина среднего свободного пробега звуковых волн в канале.

Величина потоков $q(\alpha)_{ik}$ вычисляется по формуле:

$$q(\alpha)_{ik} = \frac{\alpha_{ik} \cdot c \varepsilon_{дi}}{2(2 - \alpha_{ik})}, \quad (10)$$

где α_{ik} – коэффициент звукопоглощения k -й поверхности i -го объема.

Величина $W_{отри́к}$ определяется как:

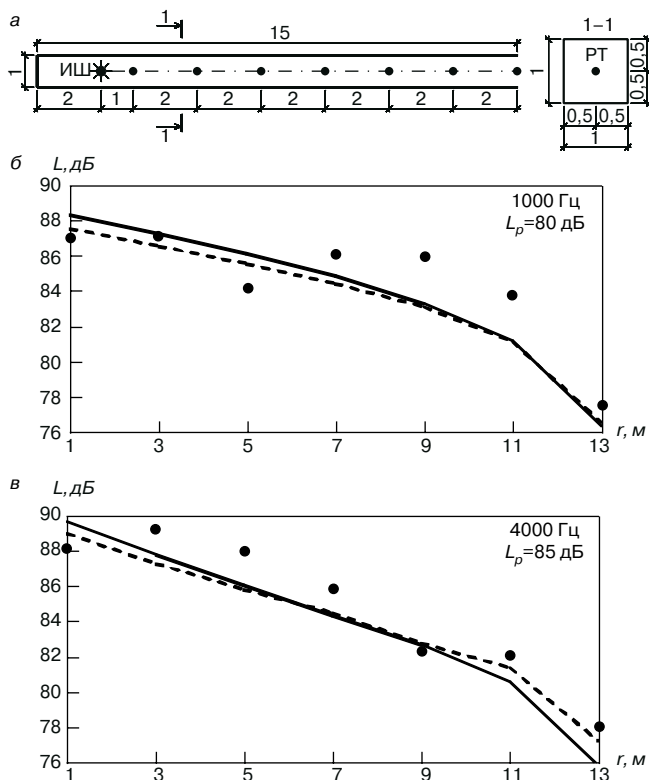


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные данные, полученные для металлического канала: а – схема канала; б – данные для октавной полосы частот с $f_{cp} = 1000$ Гц; в – то же для октавной полосы с $f_{cp} = 4000$ Гц; ● – экспериментальные уровни; --- – расчетные уровни при 95% зеркальной составляющей от общей отражаемой энергии; — — то же при 90%

$$W_{отрик} = \sum_{d=1}^b \left[\frac{P}{N} \exp(-m_b R_{kd}) \prod_{p=1}^n \rho_{pd} \zeta^n (1 - \alpha_{ik})(1 - \zeta) \right], \quad (11)$$

где b – количество лучей, упавших на k -ю поверхность i -го объема; R_{kd} – расстояние, прошедшее d -м лучом от излучения до k -й поверхности i -го объема; n – количество актов падения d -го луча на p -ю поверхность до встречи с k -й поверхностью; $\rho_{pd} = (1 - \alpha_{pd})$; α_{pd} – коэффициент звукопоглощения p -й поверхностью ограждения, на которую падал d -й луч до встречи с k -й поверхностью i -го объема.

Для реализации метода разработана компьютерная программа. Сравнение результатов расчетов в каналах со стенами из различных материалов с экспериментальными данными выявило необходимость установления реальных соотношений между зеркально и диффузно отраженными частями энергии при смешанной модели отражения звука от поверхностей. На настоящий момент установлено, что доля энергии, отражаемой зеркально для каналов из бетона, составляет в зависимости от качества поверхности 85–70%, для каналов из металла – 95–90%.

В качестве примера приведены результаты исследования распространения шума в подготовленной для монтажа секции канала из листовой стали с поперечными размерами 1×1 м длиной 15 м. При эксперименте использовали источник звука ОЕД-SP-012-600. Измерение шума производили шумомером ОКТАВА-101АМ. Торцы канала со стороны источника шума были закрыты металлом. Противоположный торец был открытым. Схема канала и результаты расчетов

приведены на рис. 2. Видно хорошее согласование расчетных и экспериментальных данных.

Таким образом, установлено, что для оценки распространения шума в магистральных крупногабаритных каналах вентиляции гражданских зданий следует использовать новый комбинированный метод расчета уровней звукового давления, объективно оценивающий реальный характер отражения звука от поверхностей стен канала.

Если каналы имеют стены из металла, то в расчетном методе следует принимать смешанную модель отражения, в которой 95% энергии отражается зеркально. В каналах с бетонными стенами долю зеркально отраженной энергии следует принимать в пределах 70–85% с учетом качества поверхности.

Список литературы

1. Леденев В.И., Макаров А.М. Расчет энергетических параметров шумовых полей в производственных помещениях сложной формы с технологическим оборудованием // Научный вестник ВГАСУ. 2008. № 2 (10). С. 94–101.
2. Schroeder M.R. Computer models for concert hall acoustics // Amer. J. Phys. 1973. Vol. 41. Pp. 461–471.
3. Леденев В.И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 156 с.
4. Гусев В.П., Солодова М.А. К вопросу о распространении шума в крупногабаритных газозвудушных каналах // АCADEMIA. Архитектура и строительство. 2010. С. 211–219.

24 – 27 ОКТЯБРЯ 2012, г. СОЧИ
Павильоны у Морпорта

SOCHI BUILD
XII МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

- АРХИТЕКТУРА. СТРОИТЕЛЬСТВО. БЛАГОУСТРОЙСТВО
- СПОРТИВНЫЕ ОБЪЕКТЫ - ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ОСНАЩЕНИЕ
- КЛИМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ТЕПЛО-, ГАЗО-, ВОДОСНАБЖЕНИЕ
- ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
- СТРОЙСПЕЦТЕХНИКА. ДОРОГА. ТУННЕЛЬ
- ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА, ЭКСТЕРЬЕРА, ДЕКОР
- ЗАГОРОДНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ. ЛАНДШАФТНЫЙ ДИЗАЙН
- ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ

При поддержке:

Выставочная компания
«Сочи-Экспо ТПП г. Сочи»
Тел./факс: (862) 264-87-00, 264-23-33,
264-75-55, (495) 745-77-09
e-mail: m.lepikova@sochi-expo.ru
www.sochi-expo.ru

УДК 534.833.46:699.844.3

*М.С. ОВСЯННИКОВ, математик-программист (michael.ovsyannikov@gmail.com),
Томский государственный университет (ТГУ)*

Построение карт шумового загрязнения методом итеративной трассировки источников

Рассмотрены вопросы оценки акустического загрязнения примагистральных территорий городов, методы моделирования линейных источников шума транспортных магистралей, расчета и автоматизированного построения карт шума примагистральных территорий. Показана методика построения карт шума с использованием итеративного метода геометрической трассировки источников, а также рассмотрены основные алгоритмы вычислительного пакета NoiseTracer. Приведен сравнительный анализ результатов компьютерного моделирования и результатов натуральных исследований.

Ключевые слова: транспортный шум, карта шума, трассировка лучей, геоинформационные системы, итеративный алгоритм.

Принятие эффективных мер по акустическому благоустройству становится возможным только при наличии ясной картины характера распространения шумового загрязнения и его влияния на окружающую территорию. Наличие соответствующего программного комплекса позволило бы еще на этапе проектирования новой застройки или новых магистралей произвести оценку негативного влияния транспортного шума и применить шумозащитные решения в процессе строительства.

За последние годы в Томске были разработаны и частично осуществлены проекты строительства и реконструкции более 10 городских магистралей. При этом реконструкция транспортных магистралей, решая проблему пробок, создает проблему акустического загрязнения примагистральных территорий, которая лишь усугубляется с увеличением пропускной способности магистралей.

Высокие шумовые характеристики наблюдаются не только в дневное, но и в ночное время суток. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562–96 определяют предельно допустимые уровни шума перед фасадами жилых домов первого фронта застройки: $L_{АЭКВ}^Д = 55$ дБА днем и не более $L_{АЭКВ}^Н = 45$ дБА ночью.

В европейских странах на защиту от шума тратится ежегодно до 50 млрд евро, что включает затраты на установку шумозащитных экранов и замену окон на шумозащитные конструкции [1]. Затраты на шумозащитные мероприятия при строительстве и реконструкции магистралей Томска составят около 1 млрд р. (10 км шумозащитных экранов и замена десятков тысяч окон).

Высокая стоимость шумозащитных мероприятий требует повышенной точности расчетов акустического загрязнения территорий, проектирования зон санитарного разрыва по фактору шума. Так, при дневной шумовой характеристике магистрали в 80 дБА и отсутствии шумозащитных зданий или экранов ширина санитарного разрыва по шуму может достигать 400 м.

Теоретическому исследованию распространения звука в городской застройке посвящено множество отечествен-

ных и зарубежных работ [2, 3]. Физические основы моделирования транспортной магистрали как линейного источника и формирования звукового поля с учетом дифракции и отражения звука от поверхности земли и от фасадов зданий исследованы достаточно хорошо [4, 5].

В настоящее время для построения карт шума используются методики ручного вычерчивания с использованием специальных линеек и палеток или компьютерные программы. Наиболее известны программы SoundPlan, ExNoise, «Эколог-Шум», Predictor, в которых использованы методики векторного вычисления уровней шума в расчетной точке [6, 7].

Применение компьютерных программ можно свести к двум общим случаям: экстраполяция результатов натуральных съемок (для получения более полной картины распространения) и создание прогнозных моделей, позволяющих предположить картину изменения распространения шума спустя определенное количество лет или в результате реконструкции автомагистрали. Значительным препятствием на пути полноценного использования компьютерных моделей зачастую является отсутствие полноценных ГИС моделей города, а процесс создания такой модели для примагистральной территории является чрезвычайно трудоемким. В связи с этим на первый план выходят программные пакеты, работающие с упрощенными планами местности, например полученными при оцифровке топологических карт.

В настоящее время появился еще один фактор, влияющий на выбор модели расчета распространения шума. В связи с тенденцией к уплотнительной застройке значительный вклад в картину распространения шума вносит эффект многократного отражения от фасадов зданий. Кроме того, в условиях близкорасположенных зданий требуется автоматически учитывать дифракционную составляющую распространения шума, как вносящую существенный вклад в картину распространения звуковых волн.

Таким образом, были сформулированы требования к программному продукту, решающему задачу построения карт шума с учетом многократных отражений и эффекта дифракции.

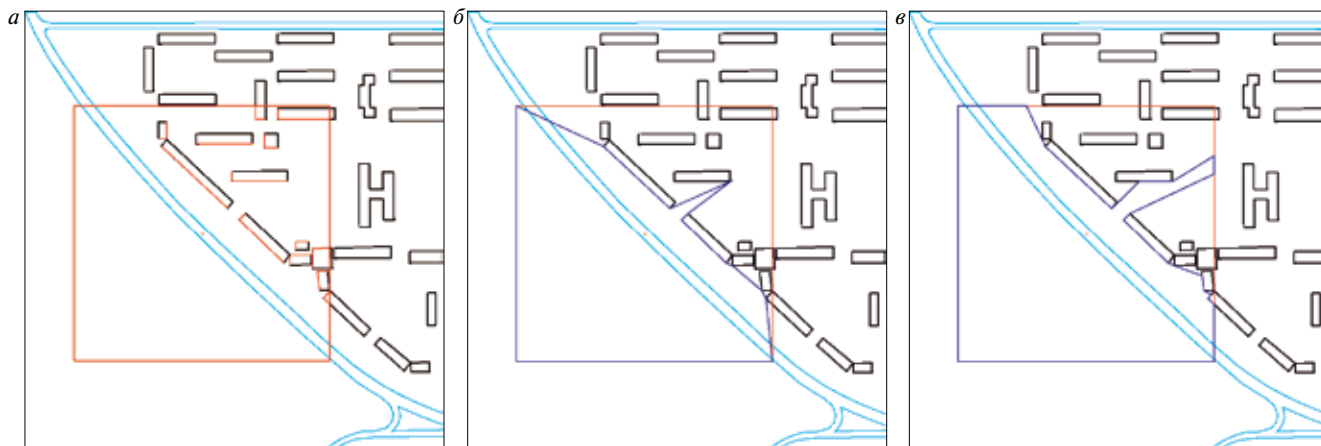


Рис. 1. Основные шаги геометрической трассировки

В основе разработанного автором экспериментального программного пакета NoiseTracer лежит итеративная схема вычислений на основе алгоритма ray-casting, состоящая из модуля геометрической трассировки источников и модуля расчета значений показателей загрязнения. Итеративная схема вычислений была применена, поскольку помимо первичных источников, заданных изначально, в процессе работы возникают вторичные источники, такие как мнимый источник для расчета отражения или направленный источник для учета дифракции. С этой целью в программе существует очередь источников, которая постоянно пополняется. Кроме того, визуализация возможна для любого состояния очереди.

Роль геометрической трассировки заключается в выделении тех областей, которые могли подвергнуться загрязнению, отсекая лишние. Обработка каждого точечного источника происходит единообразно. На первом этапе происходит построение списка фасадов, ориентированных лицевой стороной на источник (рис. 1, а). Затем, рассматривая каждое из зданий в виде полигона, заданного набором точек, выбираются такие точки, которые расположены в области

прямой видимости с помощью адаптированного алгоритма плоскостного Z-буфера (рис. 1, б). Следующим шагом является нахождение «теней» – областей, образованных частичным перекрытием путей прямолинейного распространения звука фасадами зданий. Таким образом, полученная ранее область достраивается путем включения дополнительных точек (рис. 1, в). Основным результатом работы модуля геометрической трассировки является вычисленная для каждого точечного источника область прямолинейного распространения звука, представленная полигоном.

В рамках данного этапа расчета решается еще одна задача. Это выделение вторичных источников шума, необходимых для моделирования отражений и дифракции. Координаты расположения вторичных источников вычисляются при анализе области прямолинейного распространения. Созданные вторичные источники добавляются в очередь на обработку, что позволяет за счет множества итераций учитывать эффекты многократных отражений.

Расчетный модуль производит вычисление показателей акустического загрязнения для выделенной области каждой из отмеченных зон. Это может быть как основанный на

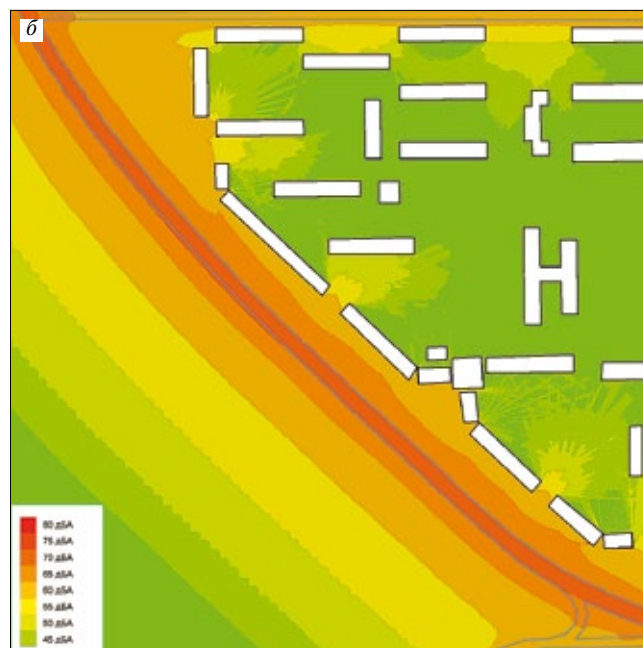
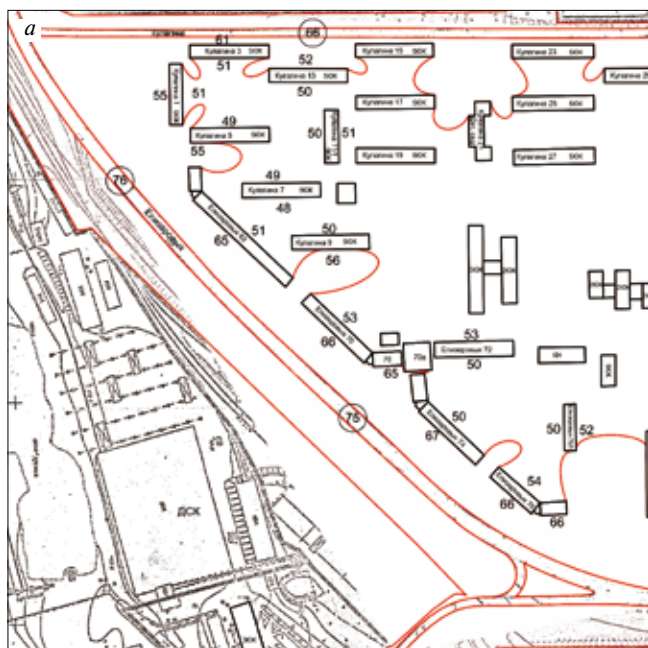


Рис. 2. Сравнение актуализированной карты шума ул. Елизаровых с результатами работы расчетной программы

Сравнение результатов расчета и построения карты шума с результатами измерения

№ контрольной точки	Замеренное значение, дБА	Расчетное значение, дБА	Погрешность, дБА
1	61	62,1	1,1
2	59	61	2
3	55	56,8	1,8
4	65	65,7	0,7
6	66	66,2	0,2
7	65	64,9	0,1
8	67	66,1	0,9
9	66	66	0
10	51	49,8	1,2
11	51	50	1
...			
34	50	50,9	0,9
Средняя погрешность			1,0833

СНиП 23-03–2003 алгоритм, так и модули расчета, использующий имитационные или детерминистические модели транспортного потока.

В рамках программы строительства городской магистрали по ул. Елизаровых в г. Томске в 2011 г. были проведены натурные съемки уровней шума в 160 точках для сравнения результатов прогнозного моделирования, выполненного в 2006 г. Результат измерений после обработки позволил актуализировать карту шума для дневного и ночного времени суток. В дополнение к результатам натурных измерений было выполнено моделирование распространения шума на приагостральной территории с использованием программного пакета NoiseTracer. В качестве исходной модели местности была использована векторная 2D-модель приагостральной территории, полученная при оцифровке топографических карт. Источники шумового загрязнения были представлены в виде набора 116 точечных источников, расположенных на осевых линиях ул. Елизаровых и ул. Кулагина. Шаг расчетной сетки был выбран в 1 м. При значении шумовой характеристики транспортной магистрали как линейного источника $L_{Aэкв}$ уровень шума каждого точечного источника L_i принят:

$$L_i = L_{Aэкв} - 10 \lg n, \quad (1)$$

где n – число точечных источников одинаковой мощности, попадающих на рассматриваемый участок магистрали.

В результате работы расчетной программы была получена карта уровней шумового загрязнения для той же территории, для которой была построена карта шума на основе натурных измерений. Для наглядности исходная карта шума представлена на рис. 2, а, а результаты расчетной программы – на рис. 2, б.

Сравнение результатов компьютерного моделирования и измерений в 34 контрольных точках представлено в таблице.

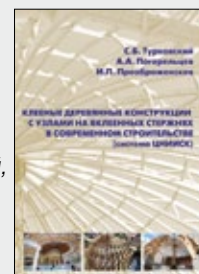
Анализ результатов расчета программы NoiseTracer показал, что шаг сетки в 1 м и шаг между точечными источниками в 10 м более чем достаточны для получения адекватной картины распространения шума в условиях плотной застройки. При этом добавление вторичных источников третьего и более порядков зачастую не приводит к каким-либо значительным изменениям итоговых результатов.

Список литературы

1. Иванов Н.И. Проблема шума в современной цивилизации // Строительная физика в XXI веке: Материалы научно-технической конференции. М.: НИИСФ РААСН, 2006. С. 39–42.
2. Осипов Г.Л., Хюбнер Г. и др. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л. Осипова, Е.Я. Юдина. М.: Стройиздат, 1987. 558 с.
3. Осипов Г.Л., Коробков В.Е., Климухин А.А. и др. Защита от шума в градостроительстве: Справочник проектировщика / Под ред. Г.Л. Осипова. М.: Стройиздат, 1993. 96 с.
4. Николов Н.Д. Теоретическое исследование звукового поля в пространстве улицы // Строительная физика в XXI веке: Материалы научно-технической конференции. М.: НИИСФ РААСН, 2006. С. 417–423.
5. Николов Н.Д., Шубин И.Л. Современный подход к акустическому расчету транспортных шумозащитных экранов // ACADEMIA. Архитектура и строительство. М.: 2010. С. 130–134.
6. Любелский В.В. Анализ акустического режима городских территорий с использованием компьютерного моделирования // Строительная физика в XXI веке: Материалы научно-технической конференции. М.: НИИСФ РААСН, 2006. С. 353–355.
7. Шубин И.Л., Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А. Опыт применения программного обеспечения Predictor при создании шумовой карты жилого района города Москвы // Проблемы и пути развития энергосбережения и защиты от шума в строительстве и ЖКХ: Материалы XV международной научно-практической конференции. М.: НИИСФ РААСН, 2011. С. 166–170.

Книга «Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК)»

Авторы – д-р техн. наук С.Б. Турковский, канд. техн. наук А.А. Погорельцев, канд. техн. наук И.П. Преображенская



Книга содержит примеры из опыта применения различных типов конструкций в современном строительстве. Особенность применяемой системы состоит в использовании нового вида соединений в узловых сопряжениях и стыках конструкций, открывающего новые возможности клееной древесины. Система позволяет получить большепролетные сборные конструкции повышенной надежности, в том числе уникальные. Кроме того, теперь имеется возможность на основе серийно изготавливаемых унифицированных элементов создавать самые различные конструктивные системы — как по форме, так и по размерам. Система создана на основании длительных исследований (с 1974 г.), проводимых сотрудниками лаборатории деревянных конструкций ЦНИИСК, а также опыта проектирования, изготовления и применения клееных деревянных конструкций за последние 15–20 лет.

Книга содержит материалы, рекомендуемые работникам проектных организаций, студентам, аспирантам, инженерам-строителям и др.

УДК 699.844

А.И. АНТОНОВ, канд. техн. наук (aiant58@yandex.ru),
А.В. БАЦУНОВА, инженер (nastybac@rambler.ru), Тамбовский государственный
технический университет; С.И. КРЫШОВ, канд. техн. наук (skryshov@yandex.ru),
НИИСФ РААСН (Москва)

Метод оценки шумовых полей помещений при проектировании шумозащиты в гражданских зданиях с непостоянными во времени источниками шума

Предложен численный метод расчета шума в помещениях гражданских зданий с непостоянными во времени источниками шума. Метод дает возможность определять уровни звукового давления и оценивать их изменение во времени. Метод позволяет выполнять оценку эффективности шумозащитных мероприятий при их применении в помещениях с непостоянными источниками шума.

Ключевые слова: шумовые поля, численный статистический энергетический метод, нестационарный шум.

Большинство источников шума, находящихся в гражданских зданиях (речь, музыка, сигналы и др.), излучают непостоянную во времени звуковую энергию. По этой причине в помещениях формируются нестационарные шумовые поля. Сведения об энергетических характеристиках таких полей необходимы при расчете уровней звукового давления и оценке их изменений во времени в различных расчетных точках помещений с целью последующей разработки шумозащитных мероприятий.

Как правило, большинство помещений гражданских зданий имеет сложные геометрические формы, при которых неприемлемы методы расчета звуковых полей, разработанные с использованием классических положений диффузной и геометрической теорий акустики помещений. Для таких помещений нами предлагается использовать оригинальный численный метод расчета нестационарных шумовых полей, основанный на статистическом энергетическом подходе к оценке распределения отраженной звуковой энергии. Статистический энергетический подход базируется на уравнении переноса энергии, устанавливающем связь между потоком \bar{q} и плотностью отраженной звуковой энергии ε в квазидиффузном звуковом поле помещения:

$$\bar{q} = -\eta \cdot \text{grad} \varepsilon, \quad (1)$$

где $\eta = 0,5c\ell_{cp}$ – коэффициент связи результирующего потока и градиента плотности энергии отраженного звукового поля помещения, зависящий от скорости звука c и средней длины свободного пробега звуковых волн в помещении ℓ_{cp} .

На основе зависимости (1) с использованием закона сохранения энергии в квазидиффузном звуковом поле получено дифференциальное уравнение для нестационарного звукового поля:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} - \eta \nabla^2 \varepsilon + cm_b \varepsilon - f_p = 0, \quad (2)$$

где ∇^2 – оператор Лапласа; m_b – пространственный коэффициент затухания звука в воздухе; $f_p = \frac{P}{dv}$ – плотность излученной энергии P в элемент объема dv .

Для решения уравнения (2) необходимо задание граничных и начальных условий. Граничные условия имеют вид:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial n} \Big|_s = \frac{\alpha}{(2-\alpha)l_{cp}} \varepsilon \Big|_s, \quad (3)$$

где α – коэффициент звукопоглощения на участке огражденной поверхности s .

Для установления начальных условий можно предположить, что действие широкополосного ненаправленного источника шума, расположенного в точке с координатами x_1^0, x_2^0, x_3^0 , представляется в виде последовательного излучения импульсов звуковой энергии при бесконечно малом временном интервале $d\tau$. Энергия импульса, участвующая в последующем формировании отраженного звукового поля, составляет величину $P(1-\bar{\alpha})d\tau$, где $\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения помещения. При бесконечно малом $d\tau$ с достаточным приближением можно считать, что излучаемый импульс энергии первоначально распределяется вблизи источника в малом объеме $V_{ис}$ и соответственно начальные условия имеют вид:

$$\varepsilon_{t=\tau} = \begin{cases} \varepsilon = \frac{P(1-\bar{\alpha})d\tau}{\int_{V_{ис}} dV}, (x_1^0, x_2^0, x_3^0) \in V_{ис}, \\ \varepsilon = 0, (x_1^0, x_2^0, x_3^0) \notin V_{ис} \end{cases}. \quad (4)$$

Для реализации математической модели (2)–(4) предлагается прямой разностный метод. В этом случае весь объем помещения разбивается на ряд элементарных объемов dv . Для каждого объема записываются уравнения баланса отраженной энергии. Полученные уравнения позволяют вычислять разностным методом значения плотности звуковой энергии во всех элементарных объемах во все последующие временные интервалы dt , то есть оценивать изменение плотности звуковой энергии во всех точках объема при действии непостоянного во времени источника

звуковой энергии, например импульсного источника шума.

Данный подход реализован нами при оценке нестационарного шумового режима в сложных по форме и несоизмеримых по геометрическим пропорциям плоских помещениях. Плоские помещения широко распространены в гражданских зданиях (офисные помещения, аудитории и т. д.). В таких помещениях звуковая энергия, существенно изменяясь в плоскости, практически не изменяется по их высоте. Это обстоятельство позволяет использовать двухмерную модель шумового поля и тем самым значительно снизить трудоемкость вычислений.

В этом случае плоское помещение, для которого определяется решение, разбивается на элементарные объемы в виде параллелепипедов со сторонами Δx , Δy и высотой, равной высоте помещения h (рис. 1). Для каждого объема определяются узловые точки сетки. Для программирования удобнее принимать параллелепипед с квадратной сеткой основания – $\Delta x = \Delta y = \Delta$. Для каждого объема записываются уравнения балансов отраженной энергии, включающие потоки отраженной энергии между соседними объемами и потоки на границах объемов.

В общем виде уравнение баланса отраженной энергии для объема с источником шума имеет вид:

$$\Delta V \varepsilon_{i,j}^{t+\Delta t} = \Delta V \varepsilon_{i,j}^t + P(1-\bar{\alpha}) \cdot dt - \Delta^2 dt (q_{\text{пл}} + q_{\text{пр}}) - \sum_4 q_{i\pm 1, j\pm 1} S dt, \quad (5)$$

где $\Delta V = h\Delta^2$ – объем параллелепипеда; $q_{\text{пл}}$, $q_{\text{пр}}$ – потоки звуковой энергии через нижнюю и верхнюю грани параллелепипеда (пол и потолок помещения); $q_{i\pm 1, j\pm 1}$ – потоки через боковые грани параллелепипеда; $S = h\Delta$ – площадь боковой поверхности.

Потоки между объемами $q_{i\pm 1, j\pm 1}$ (рис. 1, а) определяются как:

$$q_{i\pm 1, j\pm 1} = \frac{c l_{\text{ср}}}{2} \frac{(\varepsilon_{i,j} - \varepsilon_{i\pm 1, j\pm 1})}{\Delta}. \quad (6)$$

Для боковых поверхностей объемов, совпадающих с поверхностями помещения (рис. 1, б), вычисление потоков производится по формулам:

$$q_{(\alpha) i, k} = \frac{c \alpha_{i, k} \varepsilon_{i, j}}{2(2 - \alpha_{i, k})}; \quad q_{(\alpha) j, k} = \frac{c \alpha_{j, k} \varepsilon_{i, j}}{2(2 - \alpha_{j, k})}, \quad (7)$$

где $\alpha_{i, k}$, $\alpha_{j, k}$ – коэффициенты звукопоглощения k -поверхностей i , j -го элементарного объема.

Потоки через пол и потолок помещения определяются по формулам:

$$q_{i, j, \text{пл}} = \frac{c \alpha_{i, j, \text{пл}} \varepsilon_{i, j}}{2(2 - \alpha_{i, j, \text{пл}})}; \quad q_{i, j, \text{пр}} = \frac{c \alpha_{i, j, \text{пр}} \varepsilon_{i, j}}{2(2 - \alpha_{i, j, \text{пр}})}, \quad (8)$$

где $\alpha_{i, j, \text{пл}}$, $\alpha_{i, j, \text{пр}}$ – коэффициенты звукопоглощения пола и потолка в пределах i , j -го элементарного объема.

С учетом формул (6), (7) и (8) уравнение (5) имеет вид:

$$\varepsilon_{i,j}^{t+\Delta t} = \varepsilon_{i,j}^t \left[1 - \frac{(4-k) dt c l_{\text{ср}}}{2\Delta^2} - \frac{c dt}{2h} \left(\frac{\alpha_{i,j,\text{пл}}}{2 - \alpha_{\text{пл}}} + \frac{\alpha_{i,j,\text{пр}}}{2 - \alpha_{\text{пр}}} \right) - \sum_k \frac{c dt \alpha_{i,k}}{2\Delta(2 - \alpha_{i,k})} \right] + \frac{P dt (1 - \alpha_{\text{ср}})}{\Delta^2 h} + \frac{c l_{\text{ср}} dt}{2\Delta^2} \sum_{4-k} \varepsilon_{i\pm 1, j\pm 1}^t, \quad (9)$$

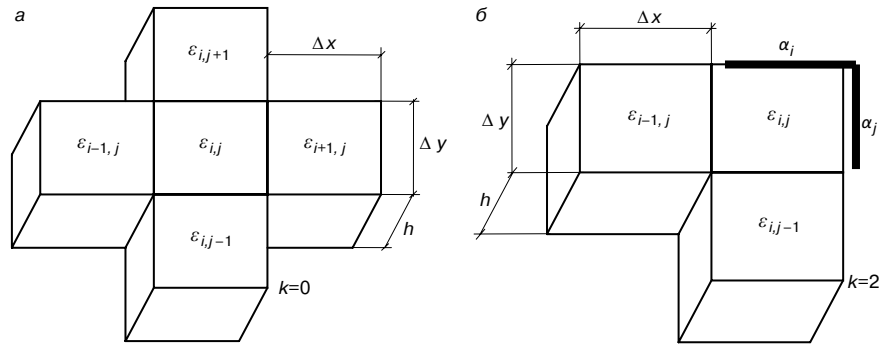


Рис. 1. Схемы к составлению уравнений баланса звуковой энергии для элементарных объемов dv : а – внутреннего; б – граничащего с боковыми поверхностями ограждений

где k – количество боковых поверхностей i , j -го объема, являющихся поверхностями помещения.

Полученное уравнение описывает изменение во времени плотности отраженной звуковой энергии от импульса в пределах i , j -го элементарного объема.

Принятая явная схема к расчету нестационарных процессов является условно устойчивой. Исследования устойчивости численного решения задач с уравнениями параболического типа, в том числе и уравнение (2), позволили определять предельный временной интервал, при котором обеспечивается устойчивость решения. В данном случае он определяется как:

$$dt \leq \frac{\Delta^2}{c l_{\text{ср}}}. \quad (10)$$

Для реализации предложенного метода разработана компьютерная программа. Ниже приведен пример расчета изменения уровней звукового давления в нескольких точках помещения П-образной формы при работе в нем импульсного источника шума (рис. 2). Коэффициент звукопоглощения всех поверхностей помещения равен $\alpha = 0,1$. Источник шума имеет следующие характеристики: пиковая мощность источника шума 100 дБ; периодичность действия источника 1 с; длительность импульса 0,4 с.

Результаты расчета изменения во времени уровней прямой, отраженной и суммарной звуковой энергии в первой расчетной точке помещения показывают, что скорость затухания отраженной энергии переменна: более интенсивное затухание в начальный период переходит в почти линейное затухание в конце (рис. 3). Результаты расчета параметров звукового поля в нескольких точках помещения приведены в таблице. Как и следовало ожидать, звуковое поле при работе импульсного источника шума неравномер-

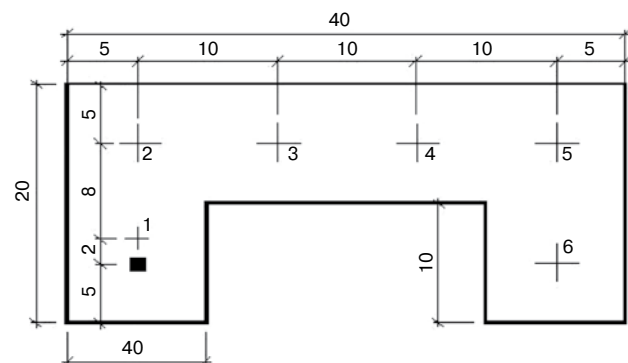


Рис. 2. Расчетная схема помещения (размеры в м): 1–6 – номера расчетных точек; ■ – источник импульсного шума

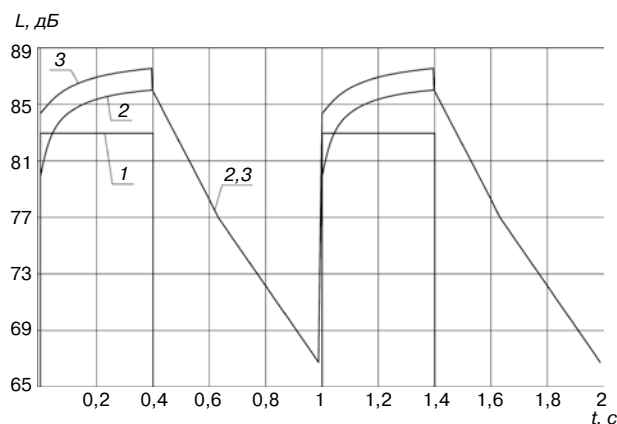


Рис. 3. Изменение во времени уровней прямой (1), отраженной (2) и суммарной (3) звуковой энергии в первой расчетной точке помещения

но. Максимальный уровень отраженного звука по точкам отличается на 12,7 дБ, а минимальный уровень шума – всего на 3 дБ. Видно, что первоначальная неравномерность звукового поля после отключения источника шума с течением времени выравнивается.

Показателями неравномерности затухания звуковой энергии служит разность между максимальным и минимальным уровнями шума ΔL в промежутке времени Δt между импульсами, а также средняя скорость затухания звуковой энергии, которая рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{\Delta L}{\Delta t}, \text{ дБ/с.} \quad (11)$$

УДК 697.133

*А.А. ВЕРХОВСКИЙ, канд. техн. наук, зав. лабораторией
«Ограждающие конструкции высотных и уникальных зданий»;
И.И. НАНАСОВ, инженер, Е.В. ЕЛИЗАРОВА, инженер, НИИСФ РААСН (Москва);
Д.И. ГАЛЬЦЕВ, инженер, ООО «Алюотerra СК»; В.В. ЩЕРЕДИН, нач. технического отдела
«Гардиан Стекло Рязань» (Рязань)*

Энергоэффективность светопрозрачных ограждающих конструкций

В статье проведен анализ оценки энергоэффективности светопрозрачных ограждающих конструкций современных высотных и уникальных зданий и предложен новый подход к оценке энергоэффективности. В ходе проведения работ был проанализирован большой объем экспериментальных и теоретических исследований, работы по техническому сопровождению возводимых и проектируемых высотных зданий в Центральном и Северо-Западном регионах России.

Ключевые слова: светопрозрачные ограждающие конструкции; энергоэффективность, теплопотери, трансмиссионная составляющая, инфльтрационная составляющая.

На рубеже XX–XXI вв. появилось новое веяние в мировой архитектуре – использование стекла как строительного материала в больших масштабах. Это позволило изменить облик российских городов. В данной статье приведена

Результаты расчета параметров нестационарного звукового поля в расчетных точках помещения

Характеристики	Номер расчетной точки					
	1	2	3	4	5	6
Максимальный уровень шума, дБ	86	83,8	81,4	77,8	74,7	73,3
Минимальный уровень шума, дБ	66,6	66,6	66,3	65,5	64,4	63,6
Разница максимального и минимального уровней, дБ	19,4	17,2	15,1	12,3	10,3	9,7
Скорость затухания звуковой энергии, дБ/с	32,3	28,7	25,2	20,5	17,2	16,2

При этом установлено, что скорость затухания звуковой энергии непостоянна по объему помещения. Эти результаты подтверждаются данными экспериментальных исследований в несоразмерных помещениях. При увеличении расстояния между источником и точкой приема сигнала при экспериментах также наблюдается снижение скорости затухания звуковой энергии.

Разработанный метод расчета и результаты выполненных на его основе исследований звука в помещениях с непостоянными источниками шума показывают, что получен надежный инструмент для исследования нестационарных звуковых полей, позволяющий объективно решать задачи по определению энергетических характеристик звуковых полей и проектировать мероприятия по шумозащите в гражданских зданиях при непостоянных источниках шума.

оценка энергоэффективности ограждающих конструкций для современных, высотных и уникальных зданий.

Энергетическая эффективность высотных и уникальных зданий зависит от многих факторов. Архитектурная форма,

тепловая защита зданий и тепловой комфорт внутри помещений являются одними из важнейших факторов, влияющих на их энергетическую эффективность. СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» устанавливает критерии энергетической эффективности и нормативы, основанные на энергетическом принципе нормирования здания в целом.

На данный момент существует три основных подхода к определению параметров теплозащиты ограждающих конструкций:

- назначение требуемых минимальных значений согласно табл. 4 СНиП 23-02–2003;
- определение их и корректировка согласно расчетам энергетического паспорта;
- подход, основанный на ограничении минимальных температур на внутренних поверхностях конструкций.

В нормативных документах содержатся ограничения на площадь остекления светопрозрачных конструкций.

При выборе нормирования по удельному расходу тепловой энергии на отопление расчетный удельный расход энергии Q_n^{des} , МДж/м² [МДж/м³], должен быть меньше или равен нормируемому значению Q_n^{req} , МДж/м² [МДж/м³] с учетом его снижения в зависимости от класса здания А или В. Методика расчета удельного расхода тепловой энергии на отопление зданий за отопительный период установлена в обязательном приложении к СНиП 23-02–2003.

Как показал анализ более десятка энергетических паспортов высотных зданий, выполненных различными организациями, потери за счет инфильтрации составляют 36–65% от общих теплопотерь здания.

Конструктивные решения, а также теплотехнические характеристики и воздухопроницаемость светопрозрачных ограждающих конструкций непосредственно влияют именно на эти составляющие теплового баланса современного здания.

Общие теплопотери здания Q_n , МДж, согласно СНиП 23-01–99* «Строительная климатология» за отопительный период определяются по формуле:

$$Q_n = 0,0864 K_m \cdot D_d \cdot A_e^{sum}, \quad (1)$$

где A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, м²; D_d – градусо-сутки отопительного периода, D_d , градусо-сутки, определяемые по формуле: $D_d = (t_{int} - t_{nt})z_{nt}$; K_m – общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле: $K_m = K_m^{tr} + K_m^{inf}$, где K_m^{tr} – приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/(м²·°C); K_m^{inf} – приведенный инфильтрационный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/(м²·°C).

Трансмиссионные теплопотери – компонента общего энергетического баланса здания, непосредственно опреде-

ляемая теплотехническими характеристиками ограждающих конструкций здания и климатическими условиями.

Существующий в настоящее время алгоритм не учитывает изменения реальных значений теплотехнических и климатологических характеристик ни по высоте здания, ни в течение отопительного периода.

Как видно из табл. 1, среднемесячная температура для климатических условий Москвы значительно отличается как от температуры наиболее холодной пятидневки, так и от средней температуры отопительного периода для города. Использование средневзвешенного параметра – градусо-суток отопительного периода в данном случае не дает объективного значения трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции высотного здания.

В ходе лабораторных исследований фасадных конструкций ведущих производителей специалистами НИИСФ была собрана статистика изменения теплотехнических характеристик светопрозрачных ограждающих конструкций от температуры наружного воздуха.

Как показали результаты многочисленных лабораторных испытаний, сопротивление теплопередаче полноразмерного элемента фасадной конструкции при температуре наружного воздуха, соответствующего температуре наиболее холодной пятидневки для Москвы $t_{ext} = -28^\circ\text{C}$, и при температуре наружного воздуха $t_{ext} = -10^\circ\text{C}$, соответствующей средней температуре января–февраля, отличаются на 12–18%. Таким образом, при использовании существующей методики определения трансмиссионных теплопотерь за отопительный период в одной формуле используются для определения градусо-суток отопительного периода и средняя температура отопительного периода, составляющая для условий Москвы $-3,4^\circ\text{C}$, и приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной ограждающей конструкции, определяемое для условий наиболее холодной пятидневки.

Для исправления этой систематической ошибки необходимо при оценке трансмиссионных потерь производить расчет пиковых значений теплопотерь для всего здания с учетом малой инерционности светопрозрачных ограждаемых конструкций.

На рис. 1–3 приведен график зависимости приведенного сопротивления теплопередаче для трех наиболее распространенных в настоящее время типов светопрозрачных фасадных конструкций. Графики являются обобщением результатов многолетних натурных и лабораторных испытаний НИИСФ РААСН. Для расчета использовалась усредненная профильная система $R_k^{непр} = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$.

В табл. 2 приведены результаты расчета помесячных трансмиссионных теплопотерь через 1 м² светопрозрачных фасадных конструкций трех типов за отопительный период.

На рис. 4–6 приведены расчеты теплопотерь для тех же типов фасадных конструкций здания с площадью све-

Таблица 1

Высота здания, м	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
От 76 до 150	-10,3	-9,4	-4,8	3,9	11,2	15,8	17,8	16	9,5	3,2	-3,3	-7,7	3,5
Свыше 150	-10,2	-9,3	-5,5	3,2	10,5	15,2	17,2	15,4	8,7	2,4	-4,1	-7,6	3

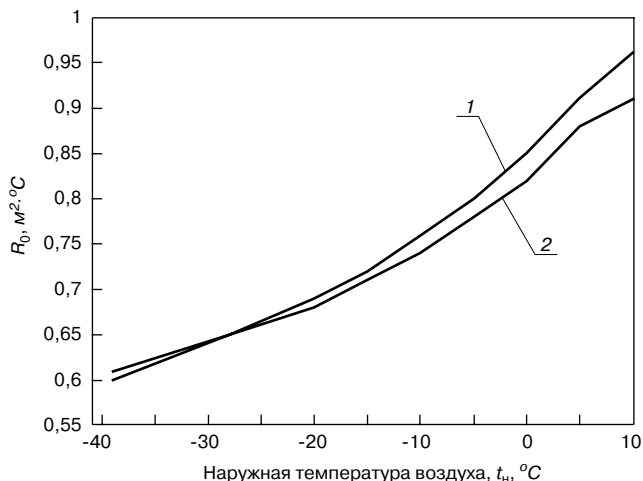


Рис. 1. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной фасадной конструкции с однокамерным стеклопакетом СПО 63-16Ar-И6СМЗ (#3, $\varepsilon=0,024$) от температуры наружного воздуха: 1 – сопротивление теплопередаче R_0 центральной части стеклопакета; 2 – приведенное сопротивление $R_0^{пр}$ теплопередаче конструкции

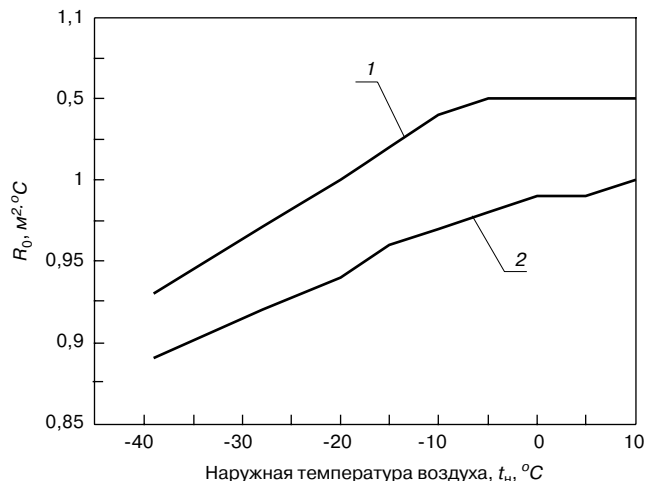


Рис. 2. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной фасадной конструкции с двухкамерным стеклопакетом СПД 83-16Ar-6M1-14Ar-И6 (#5, $\varepsilon=0,05$) от температуры наружного воздуха: 1 – сопротивление теплопередаче R_0 центральной части стеклопакета; 2 – приведенное сопротивление $R_0^{пр}$ теплопередаче конструкции

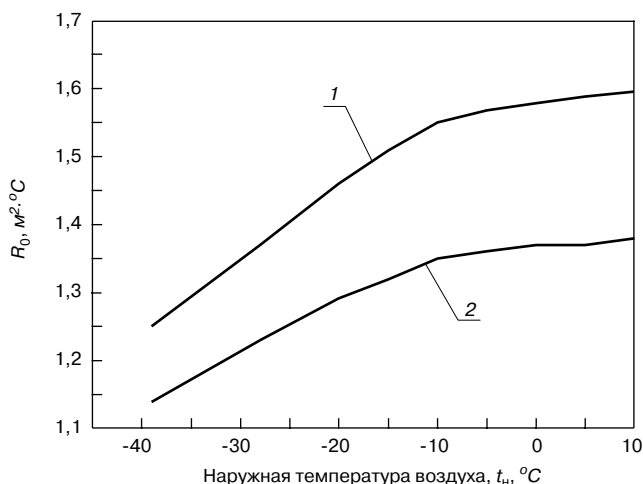


Рис. 3. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной фасадной конструкции с двухкамерным стеклопакетом СПД 83И-16Ar-6M1-14Ar-И6 (#2, $\varepsilon=0,02$; #5, $\varepsilon=0,037$) от температуры наружного воздуха при $t_{в}=+20^{\circ}\text{C}$: 1 – сопротивление теплопередаче R_0 центральной части стеклопакета; 2 – приведенное сопротивление $R_0^{пр}$ теплопередаче конструкции

топрозрачной части фасадной конструкции 32 тыс. м² для климатических условий Москвы.

На графиках светло-серым цветом в виде прямоугольника выделены результаты расчета трансмиссионных теплопотерь через ограждающие конструкции проектируемого здания согласно предлагаемой методике и методике, регламентируемой СНиП 23-02–2003, усредненные на все месяцы отопительного периода.

Если сравнить суммарные теплопотери за отопительный период для всех типов фасадных конструкций, то они будут соответственно на 16,5–22% ниже, чем определяемые согласно методике СНиП 23-02–2003 для фасадов с одно- и двухкамерными стеклопакетами.

Наиболее энергоэффективной в настоящее время является светопрозрачная фасадная конструкция с двухкамерным стеклопакетом СПД 83И-16Ar-6M1-14Ar-И6 с двумя низкоэмиссионными покрытиями (#2 $\varepsilon=0,02$, #5 $\varepsilon=0,037$). В качестве наружного низкоэмиссионного покрытия широко используется так называемое многофункциональное покрытие, снижающее теплопоглощения за счет солнечной энергии в летнее время.

Таблица 2

Месяц	$t_{ср}$, °C	СПО 63-16Ar-И6СМЗ		СПД 83-16Ar-6M1-14Ar-И6		СПД 83И-16Ar-6M1-14Ar-И6	
		$R_0^{пр}(t_n)$	Q, Вт/ч	$R_0^{пр}(t_n)$	Q, Вт/ч	$R_0^{пр}(t_n)$	Q, Вт/ч
10	2,4	0,85	11429,65	0,99	9813,33	1,37	7091,39
11	-4,1	0,78	22246,15	0,98	17706,12	1,36	12758,82
12	-7,6	0,76	27018,95	0,97	21169,48	1,36	15098,82
1	-10,2	0,74	30363,24	0,97	23163,71	1,35	16643,56
2	-9,3	0,75	26252,8	0,97	20298,56	1,35	14584,89
3	-5,5	0,78	24323,08	0,98	19359,18	1,36	13950
4	3,2	0,86	10783,26	0,98	9462,86	1,37	6769,05
10	2,4	0,85	152417,1	0,99	120973,2	1,37	86896,53
Суммарные теплопотери, Вт/м ²			11429,65		9813,33		7091,39

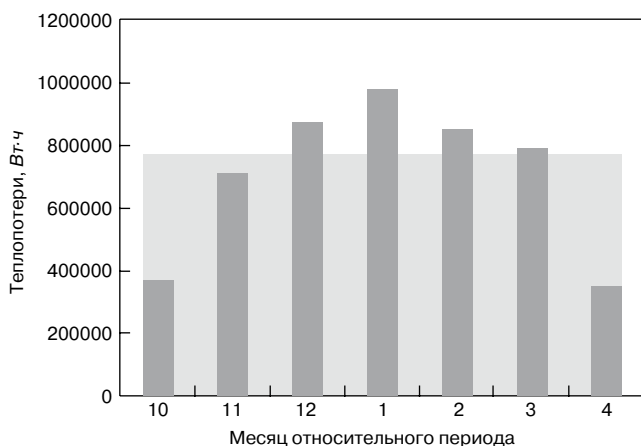


Рис. 4. Ежемесячные трансмиссионные теплопотери для светопрозрачной фасадной конструкции с однокамерным стеклопакетом СПО 63-16Ar-И6СМЗ

Для каждого случая запроектированной светопрозрачной конструкции необходимо проводить отдельный анализ с учетом всех составляющих теплообмена. Согласно имеющимся в архиве энергетическим паспортам проектируемые теплопотери через фасадные конструкции составляют 39–55% от общих энергозатрат здания (в зависимости от редакции энергетического паспорта). Таким образом, чем более точный инструмент будет применен на стадии проектирования для оценки теплопотерь через светопрозрачные фасадные конструкции, тем больший диапазон архитектурных решений будет в распоряжении проектировщика.

Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции, Вт/(м²·°C), определяется в СНиП 23-02-2003 по формуле:

$$K_m^{inf} = 0,28 c n_a \beta v V_h \rho_a^{ht} k l A_e^{sum}, \quad (2)$$

где c – удельная теплоемкость воздуха; βv – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций; V_h – отопляемый объем здания, м³; ρ_a^{ht} – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³, равная $\rho_a^{ht} = 353/[273+0,5(t_{int} + t_{ext})]$; n_a – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹; t_{int} и t_{ext} – расчетная средняя температура внутреннего и наружного воздуха соответственно, °C; K – коэффициент учета влияния встречного теплового потока.

То есть условный коэффициент теплопередачи здания за счет инфильтрации и вентиляции в первую очередь определяется как количеством инфильтрующегося воздуха в здании через ограждающие конструкции, так и режимом вентиляции здания.

Как и в случае с трансмиссионными теплопотерями, существующие в настоящее время модель и методика расчета не учитывают реальных физических процессов, происходящих в конструкциях высотного здания.

Согласно нормам на проведение испытаний на воздухопроницаемость по ГОСТ 26602.2-99 «Блоки оконные и дверные. Методы определения воздухо- и водопроницаемости» испытания проводятся для перепада давлений

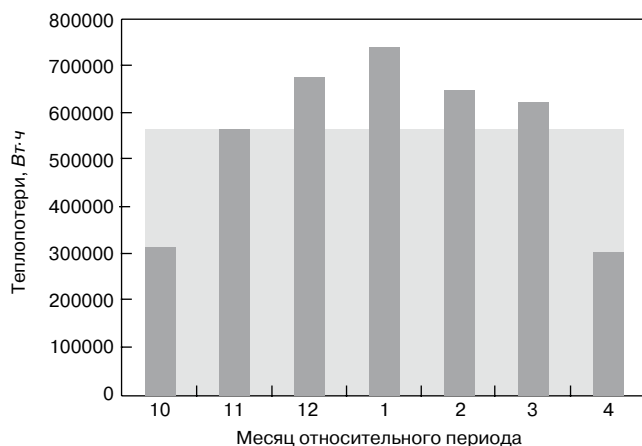


Рис. 5. Ежемесячные трансмиссионные теплопотери для светопрозрачной фасадной конструкции с двухкамерным стеклопакетом СПД 83-16Ar-6M1-14Ar-И6 с одним низкоэмиссионным покрытием

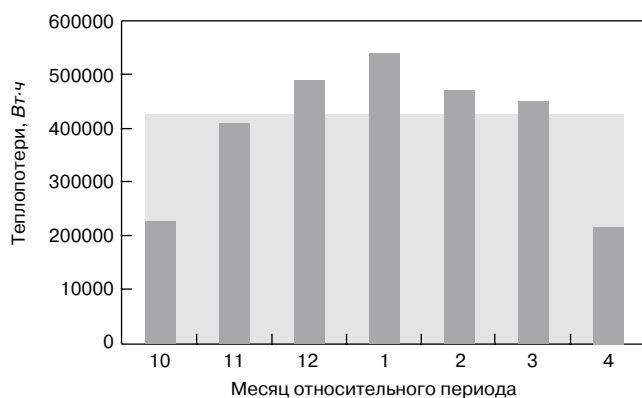


Рис. 6. Ежемесячные трансмиссионные теплопотери для светопрозрачной фасадной конструкции с двухкамерным стеклопакетом СПД 83И-16Ar-6M1-14Ar-И6 с двумя низкоэмиссионными покрытиями

$\Delta p = 10\text{--}600$ Па. Согласно европейским нормам EN 12152 и EN 12153 значения максимальной воздухопроницаемости не должно превышать 1,5 м³/(м²·ч) для глухих и 2 м³/(м²·ч) для открывающихся фасадных конструкций.

Используемая в настоящее время в России методика оперирует, как правило, значениями воздухопроницаемости при $\Delta p = 10$ Па, что вносит значительную систематическую ошибку в определение инфильтрационной составляющей энергетического баланса высотного здания.

Для определения инфильтрационной составляющей энергетического баланса высотного здания предлагается разделить процедуру ее определения на два этапа:

- определение предельных значений инфильтрационной составляющей для температуры наиболее холодных суток для региона строительства с учетом изменения температуры по высоте и максимальных значений ветра;
- определение инфильтрационной составляющей энергетического баланса высотного здания производить для каждого месяца отопительного периода. При этом для определения теплопотерь принимать воздухопроницаемость конструкции согласно результатам лабораторных испытаний.

УДК 666.1.001.5

*В.Н. КУПРИЯНОВ, д-р техн. наук (kuprivan@kgasu.ru),
Ф.Р. ХАЛИКОВА, инженер-архитектор (khalikova_f@mail.ru),
Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

Пропускание ультрафиолетовой радиации оконными стеклами при различных углах падения луча

Исследована прозрачность оконных стекол на ультрафиолетовом участке солнечного спектра при различных углах падения солнечного луча на плоскость остекления.

Ключевые слова: ксеноновая лампа, угол падения, стекло, прозрачность, ультрафиолетовая радиация.

Солнечная радиация является важным санитарно-гигиеническим фактором и поставщиком жизненно важного ультрафиолета. Именно ультрафиолетовая (УФ) область солнечного спектра оказывает наибольшее воздействие на микроорганизмы и способствует их гибели в силу более высокой энергии.

За последние годы конструкции окон претерпели значительные изменения. С целью повышения теплозащиты зданий появились новые типы стекол, стекол с различными покрытиями, стеклопакеты, заполненные различными газами и т. д. Производители современных типов стекол приводят различную информацию о светопропускании стекол, но о пропускании УФ-радиации, как правило, умалчивают.

Основные исследования по воздействию УФ-радиации на микроорганизмы были проведены на обычных силикатных стеклах при нормальном падении луча на стекло (90°) и при источниках УФ-радиации, спектр которых отличается от солнечного. В натуральных условиях в зависимости от ориентации фасадов зданий, времени года и времени суток угол падения солнечного луча на плоскость остекления может изменяться от 90 до 20°.

Поэтому назрела необходимость исследовать прозрачность современных оконных стекол на УФ-участке спектра при разных углах падения луча на плоскость остекления.

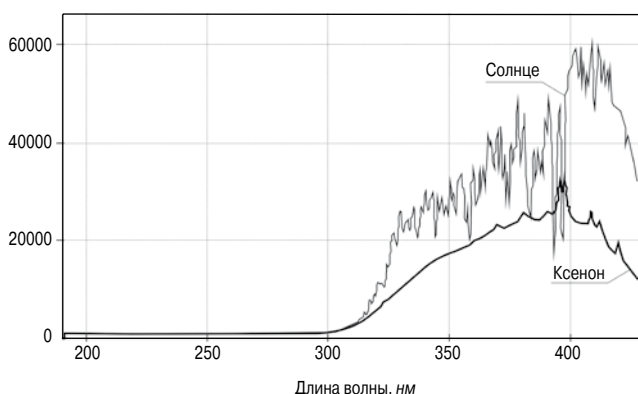


Рис. 1. Спектр солнца, совмещенный со спектром ксеноновой лампы

Для получения достоверных результатов по светопрозрачности современных стекол к УФ-радиации в лабораторных условиях необходимо подобрать такой источник света, спектр которого максимально приближен к солнечному. Для экспериментальных исследований выбрана ксеноновая лампа с водяным охлаждением типа ДКСТВ-6000. Сравнительные данные по спектру ксеноновой лампы и солнца представлены на рис. 1.

Установка состоит из двух камер: первая камера — источник УФ-радиации с ксеноновой лампой; вторая — приемник УФ-радиации, в котором расположен зажим для образцов, способный изменять угол между лучом и плоскостью стекла от 90 до 35°. В камере-приемнике установлены измерители УФ-радиации: УФ-радиометр ТКА-01/3, который измеряет суммарный поток УФ-радиации, и УФ-радиометр ТКА-АВС, измеряющий УФ-радиацию по отдельным диа-

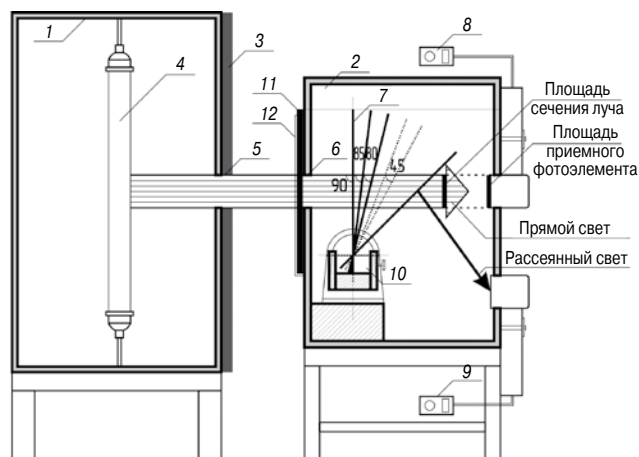


Рис. 2. Схема установки по измерению ультрафиолетовой радиации, прошедшей через стекла: 1 — камера-источник ультрафиолетового излучения; 2 — камера-приемник ультрафиолетового излучения; 3 — экран, ограничивающий пучок излучения; 4 — ксеноновая лампа; 5 — отверстие в экране; 6 — отверстие в камере-приемнике; 7 — образец стекла; 8, 9 — измерители освещенности; 10 — фиксаторы образца стекла под разными углами; 11 — фильтр-стекло 10 мм; 12 — держатель для фильтра

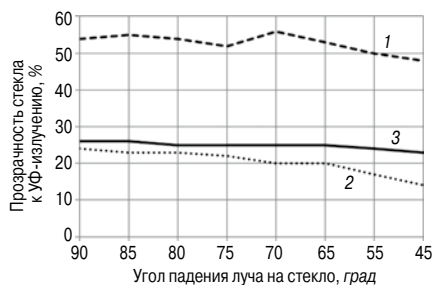


Рис. 3. Зависимость прозрачности стекла от величины угла падения луча: 1 — stopsol phoenix (прозрачное, 4 мм); 2 — matelux (прозрачное, 4 мм); 3 — S4_3 (сверхпрозрачное, 4 мм)

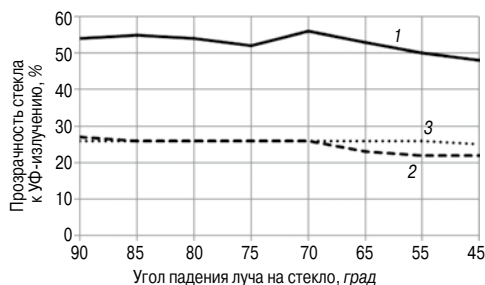


Рис. 4. Зависимость прозрачности стекол stopsol phoenix от величины угла падения луча: 1 — stopsol phoenix (прозрачное); 2 — stopsol phoenix (зеленое); 3 — stopsol phoenix (серое)

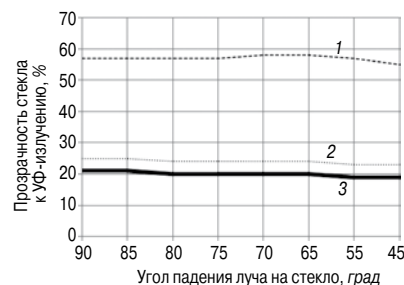


Рис. 5. Зависимость прозрачности стекла stopsol classic, силикатного стекла стеклопакета от величины угла падения луча: 1 — силикатное стекло (4 мм); 2 — stopsol classic (прозрачное, 4 мм); 3 — стеклопакет

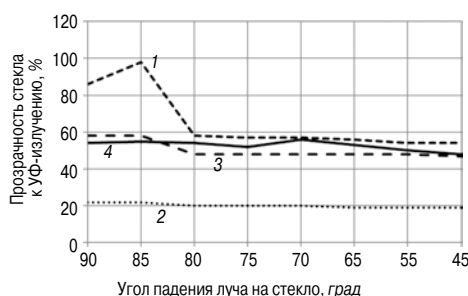


Рис. 6. Зависимость прозрачности стекла stopsol phoenix от величины угла падения луча в диапазонах спектра УФ-А, УФ-В, УФ-С: 1 — УФ-А; 2 — УФ-В; 3 — УФ-С; 4 — суммарная интенсивность

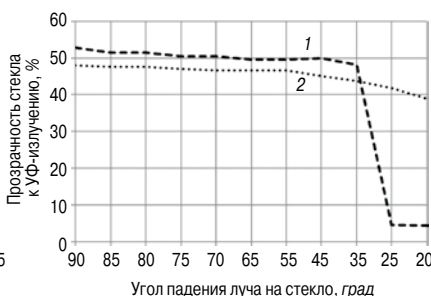


Рис. 7. Зависимость прозрачности стекла stopsol supersilver от величины угла падения луча в зависимости от толщины образца: 1 — stopsol supersilver clear (4 мм); 2 — stopsol supersilver clear (6 мм)

пазам: А (от 315 до 400 нм), В (от 280 до 315) и С (от 200 до 280 нм).

При разработке методики измерений предполагалось оценить рассеянное излучение в камере за счет преломления луча при прохождении его через стекло. Для этих целей в камере-приемнике один из измерителей УФ-радиации устанавливался внизу камеры (позиция 9, рис. 2). Важным элементом методики является сечение луча, исходящего от ксеноновой лампы. Площадь луча должна быть соразмерна с площадью приемных фотоэлементов на измерителях УФ-радиации.

Для эксперимента были выбраны стекла двух компаний: AGC и «АвтоСтройСтекло». Также был исследован один образец обычного оконного стекла. Всего было исследовано 37 типов стекол. Описание испытанных стекол приведено в работе [1].

Некоторые результаты эксперимента представлены на рис. 3–7.

Эксперимент позволил установить, что наибольшей прозрачностью к УФ-излучению обладают стекла производителя AGC и обычное силикатное стекло 50–55%. Матовые стекла компании «АвтоСтройСтекло» обладают наименьшей прозрачностью 9–11%, однако при испытании этих стекол было зафиксировано рассеянное излучение в камере-приемнике УФ-метром (позиция 9, рис. 2). Прозрачные и сверхпрозрачные стекла по наименованиям их производителей имеют большие расхождения в прозрачности к УФ-излучению (рис. 3).

С уменьшением угла падения луча на плоскость стекла снижается их прозрачность к УФ-излучению на 10–60% для разных типов стекол (рис. 4). При испытании стеклопакетов

оказалось, что суммарная прозрачность значительно ниже, чем каждого стекла в отдельности (рис. 5). Приведенные данные для стекла stopsol phoenix (прозрачное, 4 мм, AGC) показывают, что его прозрачность в различных участках спектра различная и можно ожидать различный бактерицидный эффект (рис. 6). При угле падения луча 55° и более прослеживается резкое снижение прозрачности (рис. 7). Пропускание в этом случае составляет лишь 10%.

В заключение следует отметить,

что полученный экспериментальный материал о прозрачности оконных стекол к УФ-излучению при разных углах падения луча позволит уточнить энергетические параметры инсоляции помещений в различные периоды года и суток.

Литература

1. Халикова Ф.Р., Куприянов В.Н. Экспериментальные исследования проникновения УФ-радиации через оконные стекла // Вестник МГСУ. 2011. № 3. Т. 2. С. 30–35.

**ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
журнала «Жилищное строительство»**

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

УДК 697

*Е.Г. МАЛЯВИНА, канд. техн. наук, Д.Ю. ПЕТРОВ, инженер (tau.kita@mail.ru),
Московский государственный строительный университет*

Сопряженный расчет нестационарного теплового режима водяной системы отопления и здания

Рассмотрена программа для ЭВМ, исследующая совместную работу нестационарного теплового режима здания и нестационарного гидравлического и теплового режимов водяной системы отопления. Особое внимание в статье уделено принципам расчета, на основе которых создана программа. Приводятся графически проиллюстрированные результаты программного расчета остывания двухэтажного здания. Подчеркивается значение различных факторов, влияющих на время остывания воздуха и теплоносителя. Делается вывод о возможности практического применения программы.

Ключевые слова: система отопления, тепловой режим здания, остывание воздуха, остывание теплоносителя, инфильтрация.

Известно, что современные системы отопления, оснащенные терморегулирующей и автоматической балансировочной арматурой, работают в переменном режиме [1]. Важной задачей, связанной с нестационарностью гидравлического и теплового режимов самой системы и теплового режима обслуживаемого системой здания, является расчет остывания горячей воды в системе отопления после прекращения ее подачи.

Цель статьи состоит в описании разработанного инструмента исследования (программы для ЭВМ) переменного гидравлического и теплового режимов водяной системы отопления, обслуживающей реальное здание, и представлении результатов реализации программы на расчете остывания здания вместе с системой отопления.

Главной отличительной особенностью программы является возможность моделирования совместной и взаимозависимой работы системы отопления и теплового режима здания. Основным связующим элементом в решении этих двух нестационарных и сопряженных друг с другом задач является время. Синхронизация во времени тепловых процессов в системе отопления и в здании должна осуществляться на каждом временном шаге расчета. То есть необходимо получить распределение температуры воды по системе отопления и определить температуру воздуха в помещениях здания в один и тот же момент времени. Это необходимо для того, чтобы корректно учитывать влияние температуры внутреннего воздуха на температуру воды, выходящей из каждого элемента системы, а также обратное влияние температуры всех элементов системы отопления на температуру воздуха в помещениях здания. Таким образом, помимо времени, по которому синхронизирована модель системы отопления с моделью здания, основной связующей физической величиной между ними является количество теплоты, поступающей от системы отопления в помещения. Увязка тепловых процессов в системе и в здании осуществляется с учетом в их тепловых балансах одного и того же количества теплоты, за шаг по времени перетекающего от эле-

мента системы отопления к помещению или в обратном направлении.

Фактическое распределение расходов в системе отопления является чрезвычайно важной информацией для расчета нестационарных процессов, происходящих в системе отопления, и для определения величины фактической теплоотдачи системы отопления. Расчет базируется на теории графов. С точки зрения теории графов гидравлическая цепь системы отопления – это конечный ориентированный граф цепочечной структуры с разветвлениями (орграф). Конфигурация любого орграфа, а следовательно, и любой системы отопления может быть задана с помощью трех матриц: инциденций, циклов и смежности. Решение матричной системы становится возможным с помощью предварительного ее преобразования из матричной формы в стандартный вид системы нелинейных уравнений второго порядка посредством простейших действий над матрицами. Для решения полученной системы [2] применяется модифицированный гибридный алгоритм Пауэлла с использованием конечно-разностной аппроксимации для вычисления матрицы Якоби. В качестве необходимого начального приближения искомых величин расходов принимается проектное распределение расходов в системе.

Отсчет времени в расчете переменного гидравлического и теплового режима системы отопления удобно выполнять, введя шаг по времени z , с. Удобно принять его равным промежутку времени, за который теплоноситель, вошедший в начало контура, пройдя по системе отопления, оказался снова в точке исхода. При этом следует понимать, что движение теплоносителя в системе отопления происходит по разным контурам, длина и сечения трубопроводов в которых различны. Вследствие этого теплоноситель, выйдя из различных точек разветвления, подойдет к точке сбора в разное время.

В процессе перебора всех участков от первого до последнего определяются значения температуры на выходе из каждого участка и теплоотдача участка. Одновре-

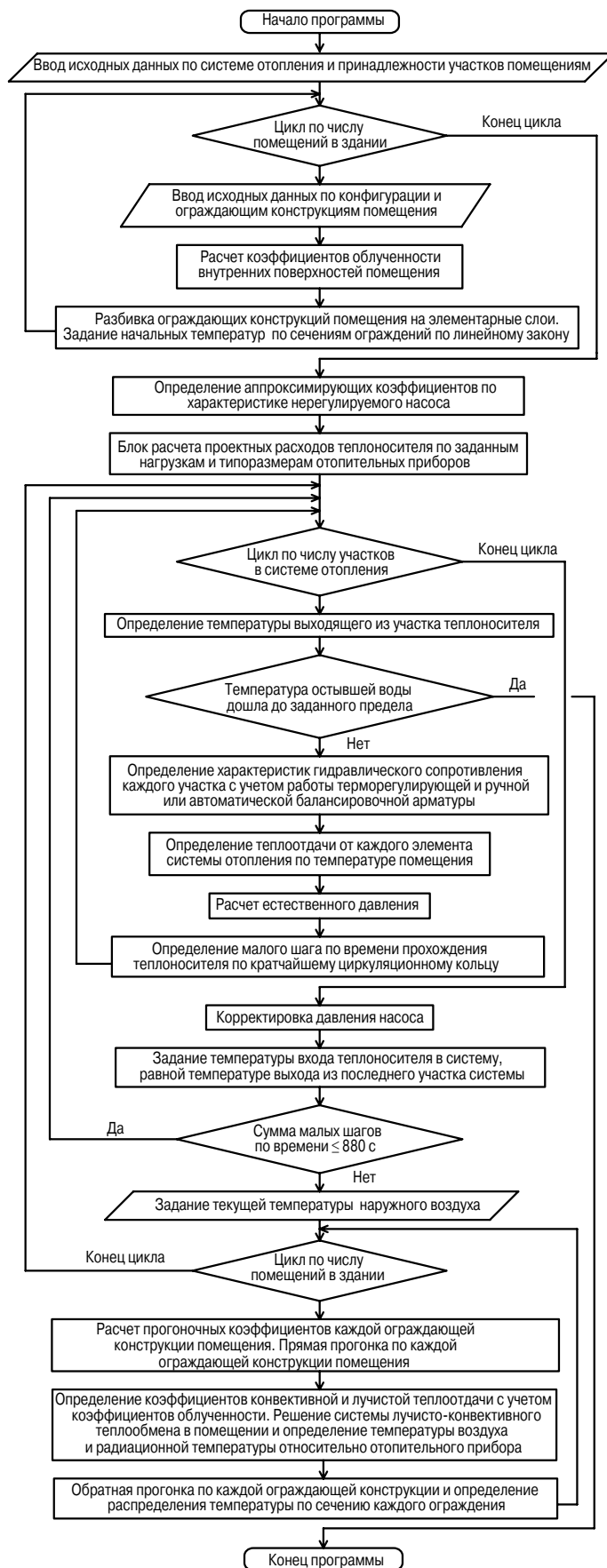


Рис. 1. Блок-схема алгоритма программы моделирования работы системы отопления

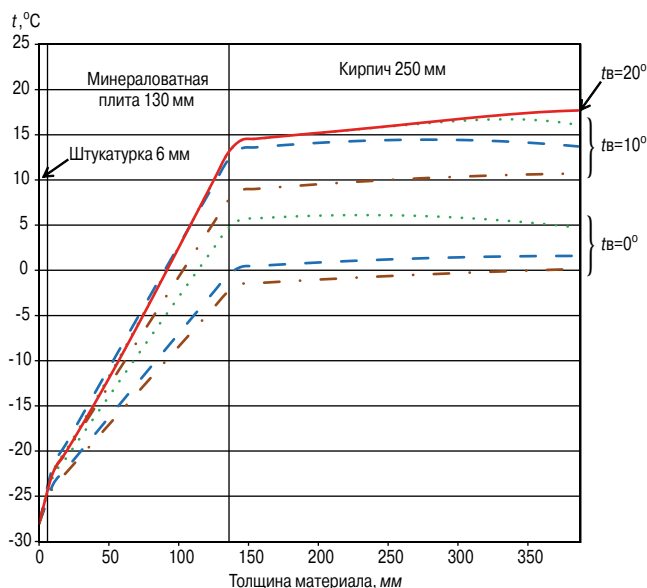


Рис. 2. Распределение температуры по сечению наружной стены с кирпичным основанием: сплошная линия — для начального момента времени; пунктирная линия — инфильтрация $6 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$; штриховая линия — инфильтрация $2 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$; штрих-пунктирная линия — $0,5 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$

менно определяется время, затрачиваемое теплоносителем на проход по участку, и прошедшее время от начала процесса. Для трубопровода это время рассчитывается по известным расходу теплоносителя и диаметру трубы. Время движения воды через отопительный прибор определяется по расходу теплоносителя и объему прибора с учетом параллельного прохождения теплоносителя через все вертикальные внутренние трубки прибора. Сумма отрезков времени полного оборота теплоносителя по системе от начала первого участка до конца последнего отражает время, необходимое для прохождения по наикратчайшему пути системы, которое принимаем за шаг по времени z .

Проходя по разным циркуляционным кольцам и встречаясь в каком-либо тройнике или крестовине, теплоноситель в момент встречи имеет различную температуру, которая обязательно должна определяться для одного и того же момента времени. За такой момент времени удобно принять самое раннее время подхода теплоносителя к месту слияния. Для этого момента времени требуется определить значения температуры теплоносителя, пришедшего к точке слияния по остальным путям.

Отметим, что в результате изменения температуры теплоносителя в системе отопления необходимо корректировать физические параметры теплоносителя. Эта корректировка выполняется последовательно по мере расчета температуры теплоносителя в каждом узле системы отопления.

Для верного расчета расходов в системе отопления необходимо учитывать, что общий расход во всей системе изменяется, поэтому следует корректировать насосное циркуляционное давление. Малая величина шага по времени z , исчисляемая промежутком от одной до нескольких минут, позволяет считать его приемлемым для коррекции насосного давления по расходу. Корректировка осуществляется с использованием характеристики нерегулируемого насоса.

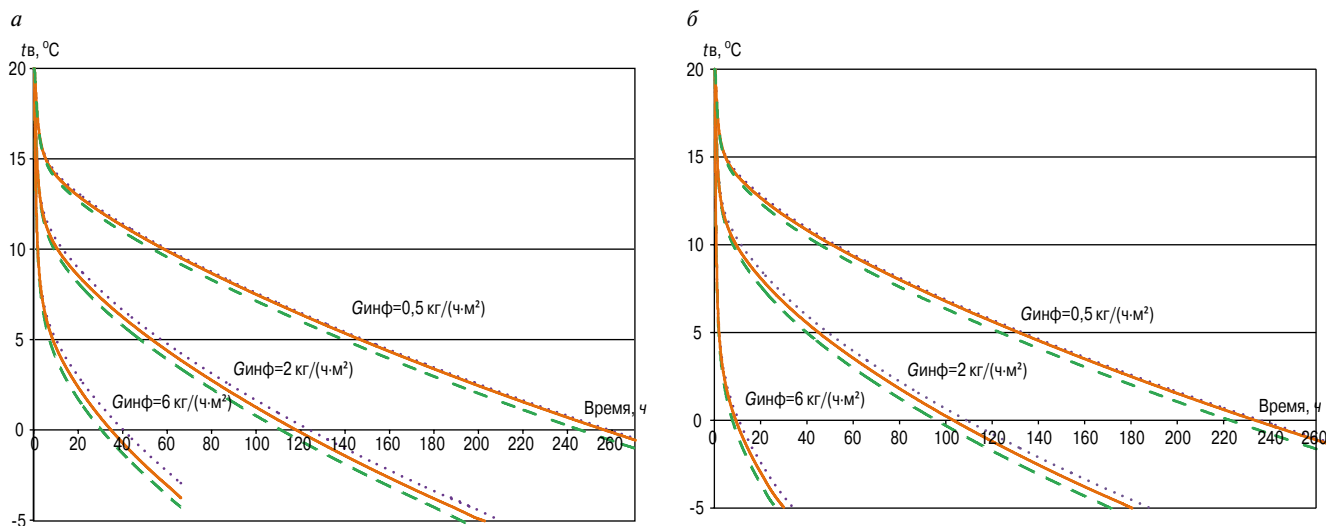


Рис. 3. Изменение температуры внутреннего воздуха: а – в помещении 1 при отключении теплоснабжения системы отопления: пунктирная линия – конструкционный материал наружной стены железобетон; штриховая линия – ячеистый бетон; сплошная линия – кирпич; б – в помещении 2 при отключении теплоснабжения системы отопления

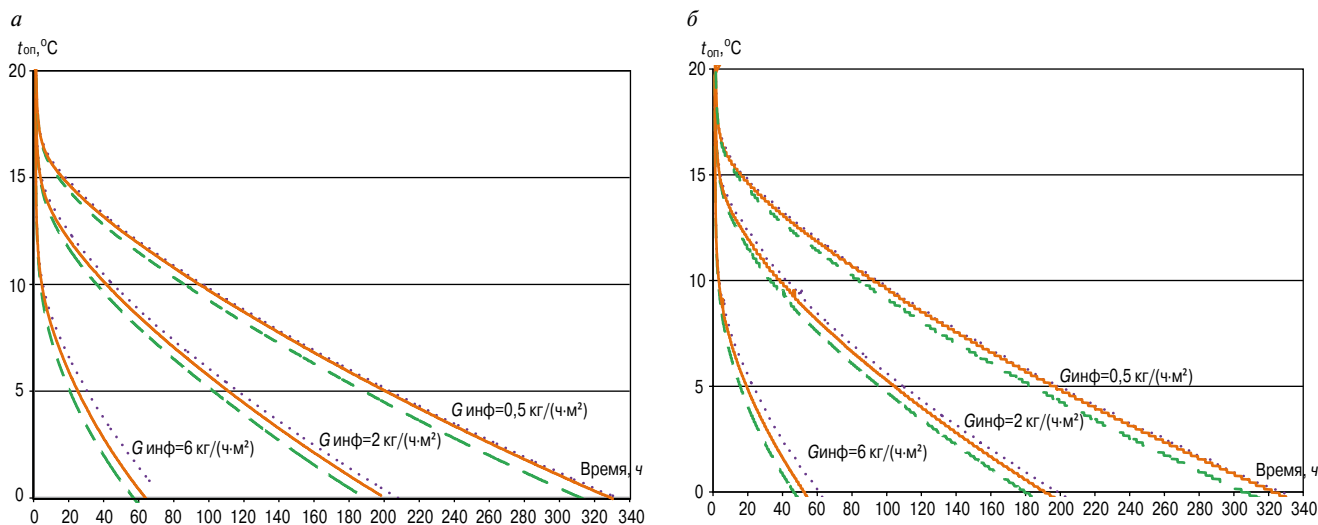


Рис. 4. Изменение температуры поверхности отопительного прибора: а – в помещении 1 при отключении теплоснабжения системы отопления; б – в помещении 2 при отключении теплоснабжения системы отопления: (обозначения см. рис. 3)

Естественное циркуляционное давление на участках системы отопления также корректируется по данным полученного распределения температуры по участкам.

Учет всех вышеперечисленных факторов позволяет корректно определить расход и температуру теплоносителя на каждом участке системы в любой момент времени. Информация о принадлежности каждого участка определенному помещению помогает рассчитать лучистые и конвективные теплопоступления от отопительных приборов и труб в любом помещении здания на каждом временном шаге.

Для учета теплоустойчивости здания сразу было решено модернизировать имеющуюся на кафедре отопления и вентиляции МГСУ программу для ЭВМ-расчета нестационарного теплового режима помещения [3], основанную на методе конечных разностей с построением неявной разностной схемы методом теплового баланса. Метод позволяет осуществить решение задачи в наиболее полной постановке, при разнообразных изменениях условий на границах ограждений (есть возможность корректирования значений коэффициентов конвективной и лучистой теплоот-

дачи) и в помещении. Раздельный учет лучистой и конвективной составляющих теплообмена в помещении является обязательным для получения реальной картины теплового режима помещения [4]. Метод конечных разностей позволяет выполнить пошаговое изменение характеристик теплового процесса во времени при достаточной точности получения результата. При этом величина шага во времени не привязана к шагам по координате.

Вначале выполняется прямая прогонка извне помещения внутрь и находятся прогоночные коэффициенты в неявной конечно-разностной задаче теплопроводности для каждого непрозрачного ограждения, после чего решается система дифференциальных уравнений балансов теплоты в конечно-разностном виде относительно поверхностей, обращенных в помещение, и воздуха помещения. Затем на основе найденных значений температуры внутренних поверхностей и воздуха помещения выполняется обратная прогонка и определяется распределение температуры по сечению каждой ограждающей конструкции на расчетном временном шаге. При новых наружных условиях и новом значении теплоотдачи от отопительно-

**Время фиксации распределения температур по сечению
наружной стены с кирпичным основанием**

Температура воздуха в помещении, °	Инфильтрация кг/(ч·м ²)		
	0,5	2	6
20	0	0	0
10	58	10,8	1,9
0	255	117	35

го прибора процесс повторяется на следующем временном шаге.

Так как здания обладают значительно большей тепловой инерцией, чем система отопления, корректировка температуры его помещений может выполняться с большим шагом по времени. Обычно этот шаг принимается равным четверти часа. Поэтому расчет нестационарного теплового режима отдельных помещений здания выполняется с переменным шагом по времени z , равным сумме мелких шагов по времени z , превышающей 880 с. Из системы уравнений лучисто-конвективного теплообмена внутри каждого помещения находится температура воздуха помещения (без распределения по высоте и в плане) и радиационная температура относительно отопительного прибора. Средняя теплоотдача отопительного прибора за время z принимается в качестве исходного данного в расчете лучисто-конвективного теплообмена помещения.

Взаимное влияние внутренней среды помещений здания и системы отопления, обслуживающей эти помещения, реализуется в программе в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 1.

Реализация разработанной программы была выполнена при расчете двухэтажного здания, где все внутренние ограждающие конструкции, обращенные в помещение, имели легкую отделку. Сопротивление теплопередаче наружных ограждений соответствовало требованиям СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» для общественного здания в Москве. Температура наружного воздуха считалась постоянной и равной расчетной для холодного периода года -28°C . Ставилась задача определения времени и хода остывания теплоносителя в системе отопления после прекращения подачи теплоты в систему отопления от сети теплоснабжения здания. При этом рассматривалось три варианта теплоустойчивости наружных стен: с ячеисто-бетонным, кирпичным и железобетонным основанием. Кроме того, расчеты выполнялись для случаев имевшей место инфильтрации в помещения с удельным расходом 0,5; 2 и 6 кг/(ч·м²) (инфильтрационные расходы отнесены к площади окна).

На рис. 2 показаны распределения температуры по сечению наружной стены с кирпичным основанием, когда в помещении наблюдалась температура воздуха, $t_{в}$, равная 20, 10 и 0°С.

В таблице приведены данные времени после прекращения теплоподдачи, через которое эти температуры воздуха достигались. Важно отметить, что темп остывания помещения в большой степени зависит от расхода инфильтрационного воздуха. Интересно также и то, что кирпичные стены со стороны помещения не успевали остывать с такой же скоростью, как и воздух помещения при инфильтрации 6 кг/(ч·м²), так как падение температуры воздуха помещения до 10°С в этом случае происходит уже за 1,9 ч. При

инфильтрации с расходом 0,5 кг/(ч·м²) помещение остывало медленно и температура внутри стены успевала снижаться, поэтому эти кривые в каждой серии располагаются ниже остальных, но и промежуток времени остывания значительно превосходит тот, что относится к более интенсивной инфильтрации.

Темп остывания воздуха для двух наиболее показательных помещений здания представлен на рис. 3, а, б. Помещение 1 по суммарной площади наружных ограждающих конструкций значительно превосходит помещение 2 (60 и 18 м² соответственно).

По рисункам видно, что расход инфильтрационного воздуха является основным фактором, влияющим на остывание внутреннего воздуха. Следующим по значимости фактором является теплоустойчивость самого помещения (объем помещения больше – теплоустойчивость больше): помещение 2 остывает при прочих равных условиях быстрее, чем помещение 1. Наименее значимым из исследуемых факторов следует считать теплоустойчивость наружной стены. Несмотря на то что объемная теплоемкость железобетона в несколько раз превосходит объемную теплоемкость кладки из ячеисто-бетонных блоков, расхождения в темпе остывания воздуха помещения от смены материала наружной стены незначительны.

Темп остывания поверхности отопительных приборов в тех же помещениях показан на рис. 4, а, б. В силу того, что теплоноситель, пройдя через отдельный отопительный прибор, смешивается в стояках и магистралях с теплоносителем, вышедшим из других приборов, разница в темпе остывания поверхности отопительного прибора для обоих помещений заметна значительно меньше, чем в случае с температурой воздуха помещения. А влияние расхода инфильтрационного воздуха и материала конструктивного слоя наружной стены практически такое же, как и для температуры воздуха помещения.

Таким образом, разработанная программа расчета нестационарного теплового режима системы отопления, встроенной в здание, позволяет определить время, имеющееся у ремонтных бригад на восстановление подачи теплоты в систему по самому неблагоприятному с точки зрения остывания воды участку.

Список литературы

1. Пырков В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. Издание 2-е, дополненное. Киев: Таки Справы, 2010. 303 с.
2. Петров Д.Ю. Математическая модель современной системы отопления // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции. Третья Международная научно-техническая конференция: Сб. докладов. М.: МГСУ, 2009. С. 134–139.
3. Асатов Р.Р. Факторы, влияющие на экономию теплоты при прерывистом отоплении зданий // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции. Третья Международная научно-техническая конференция: Сб. докладов. М.: МГСУ, 2009. С. 158–164.
4. Табунщиков Ю.А. Расчет теплопотерь помещения и требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций при раздельном учете лучистого и конвективного теплообмена // АВОК. 2009. № 4. С. 6–8.

УДК 699.86

*П.В. ФЕДЯЕВА, магистр, Е.В. ЧУЛКОВА, магистр, С.Г. ШЕЙНА, д-р техн. наук,
Ростовский государственный строительный университет*

Исследование эффективности выполнения энергосберегающих мероприятий в жилых зданиях различной этажности

Проведен анализ основных методов и способов повышения энергоэффективности в жилищном фонде. Дано обоснование необходимости повышения энергоэффективности и обоснование системы показателей, влияющих на выбор энергосберегающих решений для жилых зданий, разработана классификация жилищного фонда с учетом основных энергетических характеристик зданий, проведен анализ эффективности комплекса энергосберегающих мероприятий для разных типов жилых зданий.

Ключевые слова: энергосберегающие мероприятия, жилые здания, методики комплексной оценки, этажность зданий.

В настоящее время Россия является одной из ведущих энергетических держав мира, и пока она полностью обеспечивает свои внутренние энергетические потребности за счет собственных ресурсов. Однако эффективность использования первичных источников в стране крайне низка, что приводит к снижению жизненного уровня населения страны [1, 2].

Повышение энергоэффективности позволит решить целый ряд проблем [3]: повысить качество жилого фонда, удобство и комфортабельность проживания для населения; уменьшить расходы населения на коммунальные услуги; улучшить экологическую обстановку; максимально сохранить природные ресурсы.

Добиться снижения количества используемых энергоресурсов можно только при комплексном подходе к этой проблеме с учетом технических, организационных и социально-экономических факторов.

Согласно Федеральному закону № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» необходимо предусматривать комплекс мероприятий, направленных на обеспечение комфортных жилищных условий и соответствие современным нормативам по тепло- и гидроизоляции и энергосбережению. Наряду с другими нормативными актами он стал основанием для разработки целевых программ по энергосбережению. В 2010 г. во исполнение Закона № 261-ФЗ разработана муниципальная программа энергосбережения в жилищном фонде Ростова-на-Дону.

Очевидно, что здания, построенные в различные периоды, имеют разную степень износа. В то же время состояние зданий одного и того же периода может существенно отличаться друг от друга. Перед принятием решения о санации необходимо тщательно изучить состояние всех объектов недвижимости, оптимизировать структуру жилищного фонда и определить приоритетные направления [4–6].

Одной из основных задач данной работы являлось исследование эффективности применения энергосберегающих мероприятий в жилых зданиях различной этажности.

На первом этапе реализации программы с целью определения энергетических характеристик жилищного фонда Ростова-на-Дону разработана классификация многоквартирных домов с точки зрения энергетических характеристик: по периоду строительства, материалу стен и этажности (табл. 1). Такая классификация дает полное представление обо всех параметрах здания: объемно-планировочном решении, конструктивной схеме и материалах основных элементов [7].

На основе полученных данных можно сделать вывод о качественном состоянии жилого фонда города, а также проанализировать, при ремонте какой части жилья в первую очередь целесообразно применять энергоэффективные технологии. На рис. 1 показано, что основную часть жилищного фонда города представляют кирпичные, крупнопанельные и блочные дома массовых серий 1958–2000 гг. постройки.

Для решения поставленной задачи была рассчитана экономическая целесообразность мероприятий для жилых зданий периода постройки 1958–2000 гг. Основные показатели рассчитывались с учетом физического износа и остаточного срока службы зданий. Экономическую целесообразность применения энергосберегающих мероприятий предлагается определять с помощью коэффициента эффективности проведения ремонтных работ (табл. 1), рассчитываемого по укрупненным показателям:

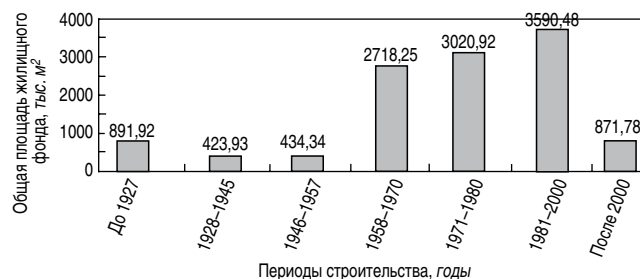


Рис. 1. Распределение площади жилых домов по периодам постройки

Таблица 1

Период постройки	Материал стен	Этажность	Количество	Итого, тыс. м ²	Коэффициент эффективности проведения ремонтных работ с учетом стоимости энергосберегающих мероприятий
До- и послереволюционный, до 1927 г	Деревянные глинобитные	1,2	443	65,3	2,1
		1	922	119,4	2,5
	Кирпичные	2	1501	345,1	1,8
		3	410	362,1	3,3
Довоенный, 1928–1945 гг.	Кирпичные	1–3	385	118,3	1,9
		4 и выше	156	305,6	1,9
Послевоенный, 1946–1957 гг.	Кирпичные, блочные, панельные	1–3	406	191,9	2,4
		4 и выше	112	242,4	1,5
1958–1970 гг.	Кирпичные	1–4	801	329,6	1,1–1,5
		5 и выше	574	1429,2	0,9–1,3
	Панельные	1–9	277	959,5	0,9–1,3
1971–1980 гг.	Кирпичные	1–4	263	561,2	0,9–1,3
		5–14	235	1037,7	0,9–0,95
	Панельные	1–4	158	566	0,9–1,3
		5–9	161	856,1	0,7–0,8
1981–2000 гг.	Кирпичные	1–4	98	116,8	0,5–0,8
		5–9	162	669,4	0,5–0,7
		10–16	109	481,7	0,5–0,8
	Панельные	5–9	328	1761,3	0,7–1
		10–18	85	561,4	0,6–0,8
После 2000 г.	Кирпичные, панельные, монолитные	5–9	36	119,7	0,6
		10 и выше	171	752,1	0,5

Таблица 2

Укрупненная стоимость проведения энергосберегающих мероприятий, р./м ² полезной площади здания				
Утепление фасада и кровли	Замена окон	Обновление систем отопления и горячего водоснабжения	Обновление системы вентиляции	Общая сумма
1900	1500	880	350	4630

$$K_3 = \frac{C_{\text{рем. раб}} + C_{\text{э/с мер}}}{C_{\text{восст}}} \leq 1,$$

где K_3 – коэффициент эффективности; $C_{\text{э/с мер}}$ – стоимость проведения энергосберегающих мероприятий; $C_{\text{рем. раб}}$ – стоимость проведения ремонтных работ; $C_{\text{восст}}$ – полная восстановительная стоимость здания.

Мероприятие, которое экономически не окупается, по существу является энергозатратным, а не энергосберегающим, поэтому стоимость проведения ремонтных работ

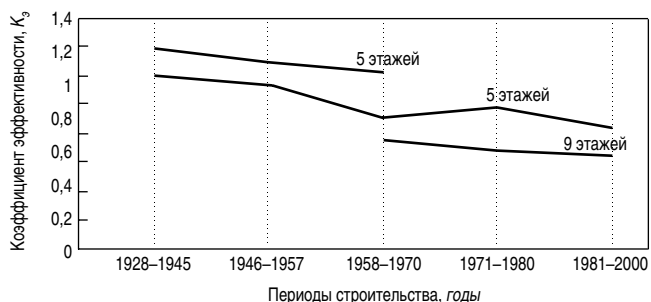


Рис. 2. Зависимость коэффициента K_3 от периодов постройки для кирпичных зданий

в комплексе с энергосберегающими мероприятиями не должна превышать восстановительную стоимость здания.

Анализ возможных вариантов проведения санации показал, что оптимальный комплекс энергосберегающих мероприятий включает: применение в качестве утеплителя ограждающих конструкций здания эффективных теплоизоляционных материалов; установку эффективных двухкамерных стеклопакетов с высоким сопротивлением теплопередаче и низкой воздухопроницаемостью; обновление системы отопления с установкой регуляторов подачи тепла; переход на автоматизированную систему искусственного освещения.

Технико-экономическая оценка выбранных мероприятий выполнена на основании сметной документации на выполнение энергетической санации объектов-аналогов.

На основании полученных данных об удельной стоимости для каждого вида мероприятий и данных о площади жилищного фонда рассчитан необходимый объем затраты на реализацию технических решений для каждой группы зданий и для жилищного фонда города в целом.

Стоимость комплекса мероприятий по энергетической санации для 5-этажного 6-подъездного здания-аналога по адресу: Ростов-на-Дону, пер. Беломорский, д. 20Г; 1972 г.

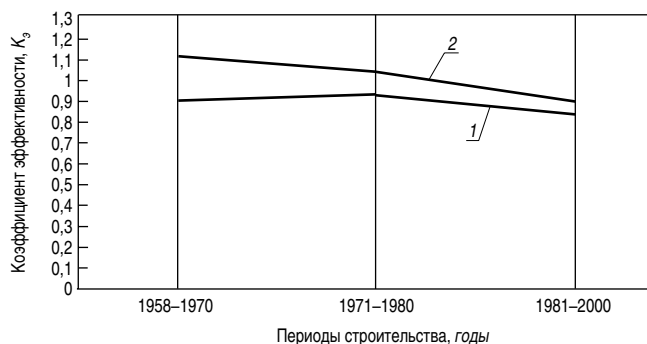


Рис. 3. Коэффициент эффективности с учетом стоимости энергосберегающих мероприятий для пятиэтажных зданий: 1 — кирпичные; 2 — панельные

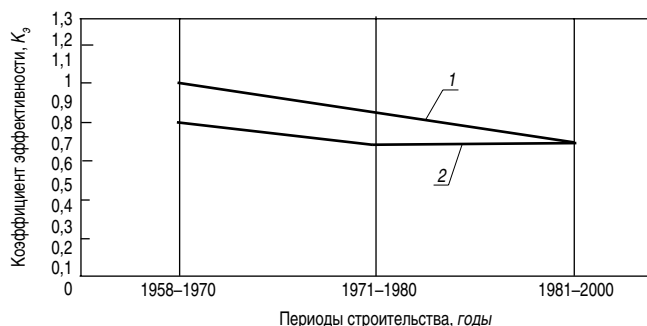


Рис. 4. Коэффициент эффективности с учетом стоимости энергосберегающих мероприятий для девятиэтажных зданий: 1 — кирпичные; 2 — панельные

постройки, отопляемым объемом 16117,706 м³, составляет 12418440 р., Стоимость комплекса мероприятий составляет 4630 р. на 1 м² площади дома.

Финансирование ремонтных работ производилось в соотношении 95% за счет средств Фонда содействия реформированию ЖКХ и 5% за счет жильцов.

Анализ результатов исследования показал, что приоритетными для проведения энергосберегающих мероприятий являются жилые дома 1958–2000 гг. постройки, этажностью не ниже пяти этажей, с кирпичными и панельными стенами, для которых $K < 1$ (рис. 2).

На рис. 3 показано, что коэффициент эффективности проведения ремонтных работ для панельных зданий больше единицы или практически равен ей (для зданий 1981–2000 гг. постройки). В этом случае эффективность выполнения работ, включающих энергосберегающие мероприятия, необходимо подтверждать другими расчетами, проводить экономический анализ для каждого конкретного проекта. Для зданий с несущими стенами из кирпича коэффициент K_3 близок к единице, но не превышает ее.

На рис. 4 приведены данные для 9-этажных зданий. Коэффициент эффективности проведения энергетической санации для зданий в 5 этажей в 1,1–1,4 раза превосходит данный коэффициент для 9-этажных зданий. Для зданий в 9 и более этажей стоимость ремонтных работ с учетом стоимости энергосберегающих мероприятий меньше восстановительной стоимости для здания в целом, что свидетельствует об экономической целесообразности проведения энергетической санации.

Дополнительным фактором оценки эффективности проведения энергосберегающих мероприятий на жилых зданиях является их местонахождение в зоне реконструкции го-

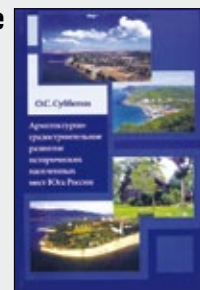
родской застройки. В настоящее время проведение комплексной реконструкции жилой застройки предусматривает снос малоэтажных строений (1–3 этажа) и строительство на их месте объектов повышенной этажности. В связи с этим при решении вопроса о выделении бюджетных средств на проведение энергосберегающих мероприятий наряду с этажностью необходимо учитывать фактор расположения жилого дома в зоне реконструкции.

Список литературы

1. Матросов Ю.А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения. М.: НИИСФ, 2008, 496 с.
2. Семенов В.Г. Основные проблемы, препятствующие нормализации теплоснабжения в муниципальных образованиях РФ // Новости теплоснабжения. 2002. № 5. С. 8–11.
3. Дмитриев А.Н. Монастырев П.В., Сборщиков С.Б. Энергосбережение в реконструируемых зданиях. М.: АСВ, 2008. С. 208.
4. Шеина С.Г. Моделирование оптимизации стратегии управления техническим состоянием жилищного фонда муниципального образования // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 5. С. 45–46.
5. Шеина С.Г. Стратегическое управление техническим состоянием жилищного фонда муниципального образования. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2008. 196 с.
6. Шеина С.Г., Никульшина Л.Л., Чулкова Е.В. Оценка эффективности реализации программ энергосбережения в жилищном фонде на примере г. Ростова-на-Дону // Сб. тр. международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании». Москва: МГСУ, 2011. С. 652–655.

Архитектурно-градостроительное развитие исторических населенных мест Юга России»

Автор – О.С. Субботин, канд. техн. наук, профессор кафедры архитектуры Кубанского государственного аграрного университета, Почетный архитектор России



В монографии рассмотрены историко-культурные аспекты освоения территорий Юга России. Проанализированы этапы архитектурно-градостроительного формирования городов Анапа, Армавир, Горячий Ключ, Ейск, Краснодар, Сочи и Таманского полуострова.

Проведен сравнительный анализ развития исследуемых городов и территорий в контексте историко-архитектурного процесса в России. Выявлены региональные особенности этого развития в разные периоды. Определены архитектурно-планировочные принципы сохранения историко-культурного наследия Кубани.

Книга будет полезна специалистам, изучающим памятники архитектуры и градостроительства, закономерности и особенности процесса развития профессионального мастерства с древних времен до современности, проектировщикам, студентам архитектурно-строительных вузов и техникумов.

УДК 697.94

*Е.Г. МАЛЯВИНА, канд. техн. наук, О.Ю. КРЮЧКОВА, инженер,
Московский государственный строительный университет*

Разработка инженерного метода определения энергетических показателей систем кондиционирования воздуха

Инженерный метод разработан на базе прямого расчета на ЭВМ энергозатрат систем кондиционирования воздуха по данным повторяемости сочетаний температуры, относительной влажности наружного воздуха и атмосферного давления.

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, климатическая информация, инженерная методика, энергопотребление, зона обработки.

Значимым недостатком процедуры расчета энергопотребления в СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» является отсутствие оценки энергозатрат на охлаждение помещения в теплый период года [1]. Учет потребления энергии на поддержание микроклимата помещения наиболее показателен, если он рассчитан для года в целом [2]. Кроме того, в южных районах Российской Федерации теплый, а не холодный период года является более энергозатратным, а потому значимым с точки зрения оптимизации режимов работы инженерных систем, обслуживающих помещения летом. Важно достаточно точно определять энергозатраты на кондиционирование воздуха в здании как для оценки будущих энергопотреблений, так и для проектирования наиболее энергоэкономичных вариантов.

В статье изложен инженерный метод определения затрат холода и воды в течение теплого периода года центральной системой кондиционирования воздуха (СКВ). Исследование выполнено на примере прямоточной СКВ со вторым подогревом.

Работа базируется на ранее разработанном методе определения на ЭВМ энергозатрат и количества воды, расходуемых СКВ. Метод включает климатическую основу, представляющую собой вероятностно-статистическую модель [3]. Модель отражает вероятность наблюдения любого из имевших место сочетаний параметров за принятый к рассмотрению временной период. Климатическая модель для Москвы получена путем прямой обработки данных первичных наблюдений за ограниченный период. Также метод включает программу для ЭВМ расчета энергопотребления, которая позволяет оценить расходы энергии и воды за расчетный период (год, сезон, месяц) каждым аппаратом обработки воздуха. Формулы для расчета требуемых расходов теплоты, холода, воды и электроэнергии известны и приведены в соответствующей научной и справочной литературе, например [4]. Алгоритм расчета универсальной программы для ЭВМ по расчету энергозатрат и количества воды, расходуемых СКВ, составлен на основе перебора сочетаний температуры и относительной влажности воздуха от минимальных до максимальных значений, наблюдававшихся

в Москве за выбранный период. Любой зоне климата отвечает определенная последовательность обработки воздуха, а границы зон определяют значения параметров наружного воздуха, при которых следует переходить с одного режима обработки воздуха на другой. Важно, что продолжительность работы каждого аппарата определяется сложением длительностей работы этого аппарата при всех сочетаниях параметров наружного воздуха, принадлежащих погодной зоне, а его энергопотребление – сложением количества теплоты, электроэнергии и воды, потребленных аппаратами обработки воздуха при этих сочетаниях.

Всего при прямоточной СКВ со вторым подогревом выделяется семь погодных зон. Первые три зоны относятся к нагреву и увлажнению воздуха в холодный и переходный периоды года. Зона 4 – это сочетания температуры и влажности наружного воздуха, при которых не требуется никакой обработки. Зона 5 предполагает сухое охлаждение в поверхностном воздухоохладителе, адиабатное увлажнение и нагревание в воздухонагревателе второй ступени; зона 6 – мокрое охлаждение наружного воздуха в поверхностном воздухоохладителе и нагревание воздуха в воздухонагревателе второй ступени; зона 7 – нагревание в воздухонагревателе первой ступени, чтобы его состояние позволяло осуществить мокрое охлаждение в поверхностном воздухоохладителе с последующим нагреванием в воздухонагревателе второй ступени [4]. Таким образом, в статье рассмотрено потребление холода и воды в зонах 5, 6 и 7. Определение потребления теплоты на второй подогрев особых трудностей не вызывает, так как зависит только от состояний в течение теплого периода года и известных проектировщику энтальпий приточного воздуха и летней точки росы. Продолжительность работы второго подогрева в этот период равна продолжительности потребления холода.

В инженерном расчете, доступном для проектной практики, было бы удобно знать средние параметры наружного воздуха и продолжительность работы аппаратов обработки воздуха в каждой рассматриваемой погодной зоне. В целях получения этих показателей были выполнены многовариантные расчеты на ЭВМ и найдены необходимые

Таблица 1

Рабочая разность температуры внутреннего и приточного воздуха $\Delta t = t_{вн} - t_{пр}$, °C	Температура $t_{вн}$, °C, влажность, φ %, внутреннего воздуха	Угловой коэффициент луча процесса ε , кДж/кг	Зона 5			Зона 6		Зона 7	
			Средняя энтальпия $l_{ср}$, кДж/кг	Среднее влагосодержание $d_{ср}$, г/кг	Время работы аппарата z_5 , ч	Средняя энтальпия $l_{ср}$, кДж/кг	Время работы аппарата z_6 , ч	Средняя энтальпия $l_{ср}$, кДж/кг	Время работы аппарата z_7 , ч
5	$t_{вн}=20^{\circ}\text{C}$ $\varphi=60\%$	∞	50,8	9,9	199,6	57,3	69,4	57,2	0,8
		50000	50,8	9,9	199,6	57,3	69,4	57,2	0,8
		30000	50,3	9,8	209	57,4	74,9	57,2	0,8
		20000	50,1	9,7	218,4	57,6	73,1	50,7	2,6
		15000	49,9	9,6	209,3	57,3	82,2	50,7	2,6
		10000	48,7	9,3	261,3	55,5	102,7	50,7	2,6
		5000	44,7	8,1	307,3	51,4	231,1	49,4	11
5	$t_{вн}=22^{\circ}\text{C}$ $\varphi=60\%$	∞	44,7	8,3	348,4	51,7	216,2	49,4	11
		50000	44,6	8,2	333,5	51,4	231,1	49,4	11
		30000	44,6	8,2	333,5	51,4	231,1	49,4	11
		20000	44,2	8,1	354,7	51,4	231,1	49,4	11
		15000	43,4	8	369,1	51,4	245,2	50,2	11,6
		10000	42,6	7,7	311,3	50,1	319,7	48,6	19,3
		5000	38,2	6,4	286	46,8	481,5	48,5	65,2
5	$t_{вн}=25^{\circ}\text{C}$ $\varphi=60\%$	∞	40,8	7,4	386,2	49	361,2	49,1	25,8
		50000	40,3	7,3	416,3	48,9	358,5	49,8	29,3
		30000	40,2	7,2	400,6	48,6	374,2	49,8	29,3
		20000	39,9	7,1	424,4	48,8	360,4	47,8	43,1
		15000	38,9	6,9	369,5	48,5	415,5	47,8	43,1
		10000	37,9	6,7	354,4	47,6	461,5	47,9	53,6
		5000	34,7	5,7	224,4	42,3	1,5	43,8	809,3
0	$t_{вн}=25^{\circ}\text{C}$	–	53,8	9,9	80,5	59,5	40,8	55,7	0,4
	$t_{вн}=22^{\circ}\text{C}$	–	52,2	10,5	189	59,5	40,8	55,7	0,4
	$t_{вн}=20^{\circ}\text{C}$	–	48,2	9,4	279,6	55,2	112,1	50,7	2,6

исходные данные для инженерного расчета, представленные в табл. 1. Расчеты выполняли для вариантов круглосуточной работы СКВ с разной температурой внутреннего воздуха при рабочей разности температур приточного и внутреннего воздуха, равной 0°C (соответствует совместной работе центрального кондиционера и местного аппарата охлаждения воздуха) и 5°C (соответствует работе только центрального кондиционера) при разных лучах обработки воздуха. При работе СКВ только в определенные часы суток должны быть составлены другие подобные таблицы.

Пользуясь табл. 1, можно определить суммарные расходы холода $Q_{хол}$, МДж, воды W , кг, и теплоты на работу воздухонагревателя второго подогрева $Q_{вн2}$, МДж, при известных из проекта расходах воздуха G , кг/ч, энтальпии приточного воздуха l_n , кДж/(кг с.в.), и параметрах летней точки росы приточного воздуха: энтальпии $l_{тр,пр}$, кДж/(кг с.в.), и влагосодержания $d_{тр,пр}$, г/(кг с.в.), по следующим формулам:

$$Q_{хол} = G \sum (l_{ср,i} - l_{тр,пр}) \cdot z_i / 1000; \quad (1)$$

$$W = G \sum (d_{тр,пр} - d_{ср,5}) \cdot z_i / 1000; \quad (2)$$

$$Q_{вн2} = G \sum (l_n - l_{тр,пр}) \cdot z_i / 1000, \quad (3)$$

где G – расход воздуха в СКВ, кг/ч; $l_{ср,i}$ – средняя энтальпия наружного воздуха в каждой зоне обработки воздуха, кДж/кг, определяемая для каждой зоны ($i = 5, 6, 7$) по табл. 1; $d_{ср,5}$ – среднее влагосодержание наружного воздуха в зоне 5, г/(кг с.в.), определяемое для зоны 5 по табл. 1;

$l_{тр,пр}$ – энтальпия летней точки росы приточного воздуха, кДж/кг; $d_{тр,пр}$ – влагосодержание приточного воздуха после обработки в блоке адиабатного увлажнения в зоне 5, г/(кг с.в.); l_n – энтальпия приточного воздуха в летний период при максимальных для приточного воздуха температуре и относительной влажности, кДж/кг; z_i – время работы СКВ в каждой зоне ($i = 5, 6, 7$), ч, определяемое по табл. 1.

Значения l_n , $l_{тр,пр}$ и $d_{тр,пр}$ находятся проектировщиком из построения процесса кондиционирования воздуха на $i-d$ диаграмме, а $l_{ср,i}$ и $d_{ср,5}$ выбираются из табл. 1 с применением интерполяции по угловому коэффициенту луча процесса и поддерживаемой температуре внутреннего воздуха.

Подтверждение способности предлагаемого упрощенного метода давать результаты, пригодные для инженерных обоснований, получено расчетом расходов холода, теплоты на второй подогрев и воды для помещений с угловыми коэффициентами луча процесса, отличными от представленных в табл. 1: $\varepsilon=26000$ Дж/кг и $\varepsilon=16000$ Дж/кг при температуре внутреннего воздуха 25; 22 и 20°C. Результаты расчета, представленные в табл. 2 и 3, убеждают в том, что упрощенный метод пригоден к использованию, так как дает расхождение с машинным расчетом, не превышающее 15%, что допустимо для инженерной практики.

Полученные оценки точности предлагаемого инженерного метода показывают, что он способен дать значительно более близкие к прямому машинному счету результаты, чем инженерный метод, изложенный в [5, 6].

Таблица 2

Температура внутреннего воздуха $t_{вн}, ^\circ\text{C}$	Угловой коэффициент луча процесса ϵ , кДж/кг	Инженерный метод					Расчет на ЭВМ				
		Расход холода за год $Q_{холод}$ кДж/год	Число часов потребления холода, ч	Расход теплоты на второй подогрев $Q_{подг2}$ кДж/ч	Расход воды на увлажнение в зоне 5, W , кг	Число часов работы увлажнителя, ч	Расход холода за год, $Q_{холод}$ кДж/год	Число часов потребления холода, ч	Расход теплоты на второй подогрев $Q_{подг2}$ кДж/ч	Расход воды на увлажнение в зоне 5, W , кг	Число часов работы увлажнителя, ч
25	26000	11878	288,5	7649	2768	212,8	11754	284,8	8101	2815,7	209
25	16000	13611	294,2	8383	2783	216,6	13105	294,2	8793	2824,5	218,4
22	26000	32093	584,1	12388	4382	342	34881	575,6	14367	3518,7	333,5
22	16000	33054	620,1	14384	4652	366,3	37683	625,9	16646	4081,5	383,8
20	26000	59108	813,6	17254	3919	410,1	58091	804	18284	3835,1	400,6
20	16000	65595	828	19755	3811	380,5	62029	827,7	20308	3764	391,8

Таблица 3

Температура внутреннего воздуха $t_{вн}, ^\circ\text{C}$	Угловой коэффициент луча процесса ϵ , кДж/кг	Невязка между методами, %				
		по расходу холода	по времени потребления холода	по расходу теплоты на второй подогрев	по расходу воды на увлажнение в зоне 5	по времени работы увлажнителя в зоне 5
25	26000	1,05	1,3	5,58	1,69	1,79
25	16000	3,72	0,01	4,66	1,47	0,82
22	26000	5,77	1,45	13,77	13,95	2,48
22	16000	4,65	0,94	13,59	9,21	4,8
20	26000	1,72	1,17	5,63	2,14	2,31
20	16000	5,44	0,04	2,8	1,22	2,98

Преимущества предлагаемого метода расчета энергетических показателей объясняются лежащей в его основе более обширной климатической базой, чем может предоставить СНиП 23-01-99* «Строительная климатология». К сожалению, в этом кроются и трудности внедрения предлагаемого метода, для реализации которого необходимо выполнить обработку первичной климатологической информации за многолетний период.

Преимущества предлагаемого инженерного метода состоят не только в точности, но и в том, что он позволяет рассмотреть работу СКВ в течение года с большей детальностью, определить энергозатраты каждого из входящих в установку кондиционирования аппарата обработки воздуха и время его работы.

Список литературы

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство. 2011. № 8. С. 10–15.
2. Аверьянов В.К., Байкова С.А., Горшков А.С. и др. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий // Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 2–4.
3. Малявина Е.Г., Крючкова О.Ю. Вероятностно-статистическая климатическая модель для расчетов энергопотребления системами кондиционирования воздуха // Вестник МГСУ. 2011. № 3. Т. 1. С. 389–394.
4. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. Москва: Евроклимат, 2006. 640 с.
5. Кувшинов Ю.Я. Расчет годовых расходов энергии системами вентиляции и кондиционирования воздуха // АВОК. 2006. № 7. С. 15–18.
6. Пекер Я.Д., Мардер Е.Я. Справочник по выбору оборудования для кондиционирования воздуха. Киев: Будивельник, 1990. 224 с.



◆ Специализируется на проведении маркетинговых исследований и мониторинге рынков в области строительных материалов и минерального сырья в России и ряде стран СНГ.

Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой продукции, включая анализ данных ее производства и потребления, экспортно-импортных поставок, сырьевой базы, состояния ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.

Выполнены работы:
– по минеральному сырью: гипсовому камню, полевому шпату, различным видам глин, стекольным и формовочным пескам, карбонатным породам (доломиту, мелу, известняку) кварцу, бентониту, волластониту, диатомиту и др.

– по строительным материалам: цементу, извести, гипсу, листовому стеклу, щебню, гравии, теплоизоляционным и кровельным материалам, архитектурному профилю из алюминиевых сплавов и ПВХ, кирпичу, ячеистому бетону и др.

Предлагаем готовые аналитические обзоры рынков, проведение исследований по вашим индивидуальным заказам, а также услуги по мониторингу цен и объемов поставок продукции (внутренние поставки и анализ ВЭД) на ежемесячной или ежеквартальной основе.

ООО «ГС-Эксперт»

125047, Москва, 1-й Тверской-Ямской пер., д. 18, оф. 230
Тел: (499) 250-48-74; (816) 507-83-77 Факс: (499) 250-48-74

www.gs-expert.ru

E-mail: info@gs-expert.ru

УДК 699.842

В.А. СМИРНОВ, инженер,
Московский государственный строительный университет

Методы размещения высокоточного оборудования в существующих зданиях

Рассматривается вопрос размещения высокоточного оборудования (электронные и атомно-силовые микроскопы, лазерные скамьи, координатно-расточные станки) в существующем здании в условиях сложившейся застройки, характеризующейся повышенным уровнем вибрации. В связи с высокими требованиями к уровню вибрации основания под такое оборудование перспективным решением является применение нелинейных виброзащитных систем, обладающих малой динамической – высокой статической жесткостью, которые, обладая требуемой несущей способностью, позволяют эффективно гасить низкочастотные колебания. Приводится способ вычисления собственных частот виброизолятора с использованием модели колебаний с кубической нелинейностью – осциллятора Дуффинга. Полученные в результате расчетов зависимости собственных частот колебаний от параметров системы позволяют осуществить проектирование конструкции виброизолятора для высокоточного оборудования для различных категорий эксплуатации.

Ключевые слова: низкочастотные колебания, виброзащита, высокоточное оборудование, нелинейный виброизолятор, осциллятор Дуффинга.

С развитием технологий разрешающая способность исследовательского оборудования значительно возросла. Современные электронные микроскопы имеют разрешение порядка 0,3–0,05 нм, способны манипулировать атомами; современные высокоточные фрезерные и шлифовальные станки способны обрабатывать металлические заготовки до шероховатости поверхности порядка 0,1–5 мкм. Вследствие высокой точности такое оборудование становится крайне чувствительным к колебаниям основания, на котором оно установлено, даже микронного уровня. Например, если в отечественных рекомендациях [1] установлена максимальная амплитуда скорости колебаний основания 0,01 мм/с для оборудования класса 1, то в зарубежных рекомендациях [2] для того же типа оборудования критерий VC-C – VC-E регламентирует среднеквадратическую скорость колебаний основания 12,5–3,1 мкм/с соответственно. Естественно, что любому месту строительства соответствует собственный уровень низкочастотных колебаний основания, кроме того, в здании всегда имеются неустраняемые источники колебаний (пешеходная активность, работы систем ОВК и т. д.).

Необходимо отметить, что для эффективной виброзащиты от низкочастотных возмущений желательнее иметь крайне низкую частоту собственных колебаний виброизолированной установки. Изготовление и эксплуатация виброизолированной системы с линейной упругой характеристикой, обладающей собственной частотой колебаний ниже 2 Гц, сопряжены с большими техническими трудностями. Например, однокаскадная система виброзащиты должна содержать инерционный блок, который в зависимости от типа оборудования может весить от 50 до 100 т. В отечественной практике известны прецеденты, когда масса инерционного блока доходила до 700 т. Таким образом, установка высокоточного оборудования на линейную систему в существующем здании невозможна без кардинального изменения его конструктивной схемы,

что связано со значительными материальными вложениями.

Напротив, если упругая характеристика виброизоляции нелинейна, то параметры упругих элементов можно подобрать таким образом, чтобы жесткость системы в некотором диапазоне перемещений виброизолированного объекта равнялась нулю [1]. Габариты и масса такой виброзащитной системы малы, а эффективность по сравнению с линейной системой значительно выше. Научный интерес к системам с малой динамической и высокой статической жесткостью возрастает. Данное направление активно развивается, например в работах В.А. Ивовича [3], Carella [4], и некоторых других. Однако в настоящее время не существует точных методов расчета таких систем, обычно применяются линеаризованные модели, которые не учитывают выраженную нелинейность работы виброизолятора. В статье приводится способ вычисления собственных частот виброизолятора с использованием модели колебаний с кубической нелинейностью – осциллятора Дуффинга.

Осциллятор Дуффинга является обобщенной моделью колебательной системы с кубической нелинейностью и находит применение для решения обширного круга задач. Учет кубического члена в разложении упругой характеристики виброизолятора позволяет учитывать профиль потенциальной функции вблизи локального минимума и точнее

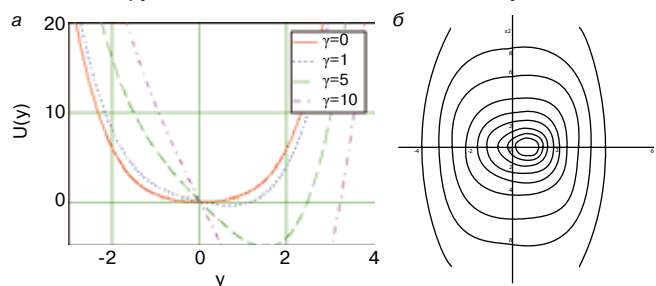


Рис. 1. График потенциальной функции (а) и фазовый портрет осциллятора (б)

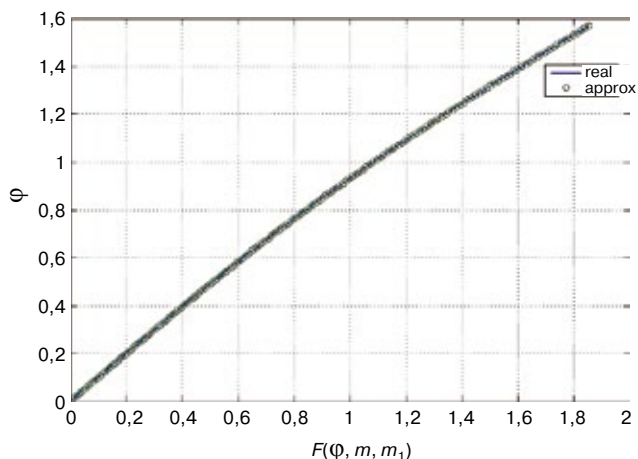


Рис. 2. График аппроксимации решения (5)

характеризовать динамику колеблющейся массы. Осциллятор Дуффинга хорошо изучен для широкого класса задач, поэтому и был взят за основу при изучении динамики виброизолятора квазинулевой жесткости.

Статический расчет виброизолятора квазинулевой жесткости проведен в работах [5, 6]. Упругая характеристика виброизолятора может быть представлена в виде:

$$F(y) = -\gamma + \alpha y + \beta y^3, \quad (1)$$

где α , β и γ – некоторые параметры системы.

Тогда потенциальная энергия системы в безразмерной форме примет вид:

$$U(y) = \frac{y^2}{2} + \frac{y^4}{4} - \gamma y. \quad (2)$$

Фазовый портрет осциллятора и график потенциальной функции представлены на рис. 1, а, б.

На фазовом портрете имеется единственный тип траекторий – замкнутые орбиты, охватывающие центр и соответствующие периодическим колебаниям. Центр смещен по оси x на величину, соответствующую перемещению системы до состояния равновесия. Согласно закону сохранения энергии:

$$\dot{y} = \pm \sqrt{2(E - U(y))}, \quad (3)$$

где E – полная энергия системы, определяемая из начальных условий.

Разделяя в (3) переменные и подставляя (2), получаем:

$$dt = \mp \frac{d\psi}{\sqrt{(1+y_0^2) \sqrt{1-m^2 \sin^2 \psi - m_1^2 \sin^2 \frac{\psi}{2}}}}, \quad (4)$$

$$\text{где } m^2 = \frac{y_0^2}{2(1+y_0^2)}; \quad m_1^2 = \frac{y_0}{2(1+y_0^2)}.$$

Отметим, что при $m_1=0$ после интегрирования (4) получается выражение для неполного эллиптического интеграла первого рода. Однако при $m_1 \neq 0$ аналитического решения нет. В настоящей работе предложен численный метод отыскания решения интеграла:

$$T(\varphi, m, m_1) = \frac{2}{\sqrt{(1+y_0^2)^0}} \int_0^\varphi \frac{d\psi}{\sqrt{1-m^2 \sin^2 \psi - m_1^2 \sin^2 \frac{\psi}{2}}}. \quad (5)$$

Алгоритм решения (5) сводится к вычислению значений

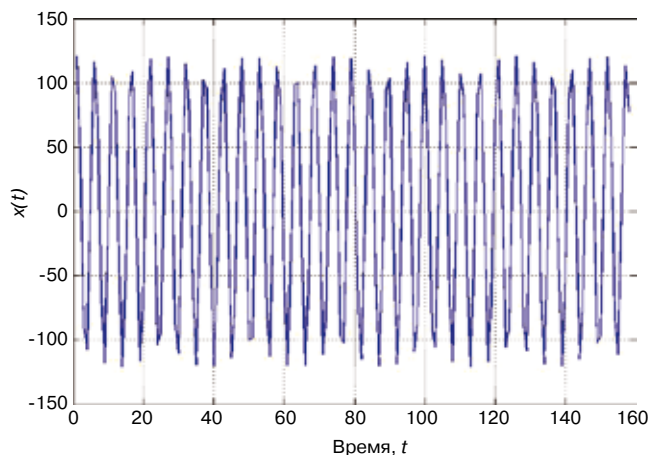


Рис. 3. График колебаний виброизолированного объекта

периода колебаний T при фиксированных параметрах m и m_1 с помощью встроенной в ПК Matlab процедуры интегрирования с повышенной точностью `quadl` и дальнейшей аппроксимации решения полиномом восьмой степени. Для определения закона колебаний виброизолированной массы необходимо отыскать функцию $\varphi(t, m, m_1)$, обратную (5) на основе полученного полинома.

На рис. 2 представлены график аппроксимированного решения (5) для $\varphi \in [0, \frac{\pi}{2}]$ при разбиении интервала на 1000 точек и график колебаний виброизолированной массы. Колебания происходят по дну потенциальной ямы, что подтверждается наличием характерных биений на рис. 3. По расчетам собственная частота виброизолятора составляет 0,01–0,05 Гц в зависимости от параметров m и m_1 .

Таким образом, варьируя указанные параметры m и m_1 , можно осуществить подбор размеров и частотных характеристик виброизолятора квазинулевой жесткости для различных условий эксплуатации оборудования. Данные расчеты позволяют спроектировать нелинейный виброизолятор для высокоточного оборудования, задаваясь лишь требуемым значением собственной частоты колебаний и предполагаемым габаритом установки.

Список литературы

1. Рекомендации по виброзащите несущих конструкций производственных зданий. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М., 1988.
2. «Evolving Criteria for Research Facilities: Vibration» (with Hal Amick, Michael Gendreau, and Todd Busch), Proceedings of SPIE Conference 5933: Buildings for Nanoscale Research and Beyond, San Diego, CA, July 31–August 1, 2005.
3. Carella A., Brennan M.J., Waters T.P. On the design of a high-static-low-dynamic-stiffness isolator using linear mechanical springs and magnets // Journal of Sound and Vibration, 2008. vol. 3. Pp. 120–131.
4. Ивович В.А., Онищенко В.Я. Защита от вибрации в машиностроении. М.: Машиностроение, 1990.
5. Мондрус В.Л., Смирнов В.А. Виброзащита высокоточного оборудования от низкочастотных колебаний // ACADEMIA. Архитектура и строительство. 2011. № 1. С. 109–111.
6. Смирнов В.А. Синтез систем виброзащиты малой жесткости // Сб. трудов Международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании». М: МГСУ, 2011. Т. 1. С. 184–190.

УДК 711.5:502.22

*Н.В. БАКАЕВА, канд. техн. наук, И.В. ШИШКИНА, канд. техн. наук,
Д.В. МАТЮШИН, инженер, Государственный университет —
учебно-научно-производственный комплекс, Архитектурно-строительный институт*

Модель экологически безопасной автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства и методика интегральной оценки ее состояния

Рассматривается возможность обеспечения экологической безопасности городской среды от воздействия автотранспортной системы и ее инфраструктуры на новой концептуальной основе с позиции биосферной совместимости. Построена модель экологически безопасной автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства как природосоциотехнической системы. Излагается методика интегральной оценки состояния городской среды по совокупному состоянию различных компонентов природной и социальной составляющих с использованием аппарата нечеткой логики.

Ключевые слова: *урбанизированная территория, биосферная совместимость, баланс биотехносферы, природосоциотехническая структура, автотранспортная система, теоретико-множественный подход.*

Проблема повышения экологической безопасности городского строительства и среды жизнедеятельности становится все злободневнее, выходит за рамки принятия конкретных инженерно-технических мероприятий и программ, приобретает социально-экономическое звучание и формирует новые стандарты поведения, нормы морали, взаимоотношений человека и природы. Одним из наиболее значимых направлений решения данной проблемы является снижение загрязнения окружающей природной среды отходами, образующимися от подвижных и стационарных объектов транспортного назначения как составной части городского хозяйства. На сегодняшний день автотранспорт и объекты автотранспортной системы (АТС) создают порядка 70–80% всех отходов и выбросов, а в мегаполисах и крупных городах – все 90%, превращая их в центры основных экологических проблем [1]. В результате автотранспортного воздействия создается дискомфортное состояние городской экосистемы по показателям атмосферного воздуха, акустической и водной сред, а также ее загрязнение ввиду вибраций, повышенного тепла и других факторов.

Полученные результаты на основе сложившихся к настоящему времени научных направлений не в полной мере отвечают современным вызовам, не дают возможности всесторонне выявить экологические проблемы городского хозяйства; пути их решения требуют проведения междисциплинарных исследований в этой сфере. Разработка предложений по совершенствованию социально-экономических механизмов обеспечения экологической безопасности в рамках парадигмы биосферной совместимости, предложенной РААСН [2], позволит не только удовлетворять современным экологическим требованиям, но и обеспечит прогрессивное гармоничное развитие человека в структуре города как неотъемлемой части природы.

С этих позиций встает задача моделирования и формализации состояния городской среды от воздействия на нее структур жизнеобеспечения на базе системных математических моделей.

Теоретической основой решения поставленной задачи являются постулаты парадигмы биосферной совместимости о гомеостатическом взаимодействии природы, общества и человека и способности открытых в этом случае систем восстанавливать утраченное равновесие в соответствии с природными закономерностями и потребностями общества [2,3]. На этом основании построение множества моделей различного уровня детализации и конкретизации, адекватных фактическому состоянию системы жизнеобеспечения городского хозяйства и ее элементов на рассматриваемой урбанизированной территории, необходимо выполнять с учетом разнообразия отношений, связей и взаимодействий между функционально самостоятельными подсистемами разного типа (технической, социальной, природной) в ее составе.

Автотранспортная инфраструктура городского хозяйства представляет собой открытую динамическую систему, состояние которой обусловлено: а) внешними; б) внутренними взаимодействиями между составляющими; в) внутрисоставляющими процессами.

Сформулированный академиком В.А. Ильичевым принцип составления и расчета тройственных или гуманитарных балансов биотехносферы урбанизированных территорий [2, 3] полагаем справедливым для расчета балансов составляющих ограниченных городских территорий, в том числе и локальных систем. В этом случае количественное выражение составляющих этого баланса можно расценивать как обобщенный критерий оценки их состояния.

Для природосоциотехнической структуры автотранспортной системы под балансом ее состояния будем пони-

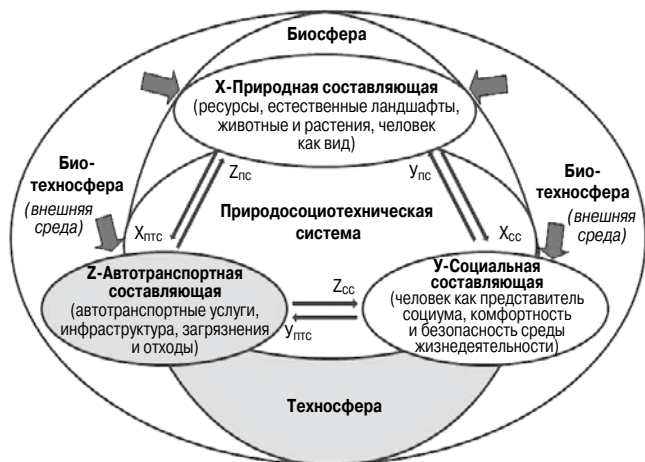


Схема обобщенной модели экологически безопасной автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства как природосоциотехнической системы

мать некоторую расчетную пропорцию на текущий момент времени между:

- потенциалом биосферы (природной составляющей);
- элементами автотранспортной инфраструктуры как местами удовлетворения потребностей населения (автотранспортной составляющей);
- человеческим потенциалом, реализуемым в области жизнедеятельности (социальной составляющей).

Соотношение между составляющими баланса должно быть таково, чтобы было возможно их симбиотическое соединение, определяющее состояние биосферной совместности, при котором происходит сохранение (а при необходимости восстановление) биосферы регионов и на этой основе развитие человеческого потенциала либо деградация биосферы и снижение качества жизни населения городов и поселений.

Математическая модель природосоциотехнической структуры как сложной динамической системы в общем виде может быть описана нелинейным уравнением вида:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где f – непрерывные или кусочно-непрерывные функции; x_n – координаты системы, отражающие положение некоторой точки на фазовой плоскости или в пространстве координат и характеризующие состояния составляющих системы в любой момент времени.

Для расчета гуманитарного баланса на основе представления (1) должны быть формализованы различные процессы, ситуации, состояния и их сочетания, взаимодействия факторов, структурированные и систематизированные по принципам матрицы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [2, 3]. Сами по себе отдельные процессы и функциональные зависимости, их описывающие, известны, многие из них нормированы; тем не менее статистически большинство не зафиксировано ни по городам, ни по историческим периодам какого-либо одного города в соотношении с уровнем развития человеческого потенциала. Это одна из важнейших задач предстоящих исследований в этом направлении, с тем

чтобы определить оптимальные показатели и целенаправленно внести соответствующие изменения в механизмы управления городом.

С целью разработки алгоритма реализации такой задачи формализуем состояние природосоциотехнической системы моделью тройственного баланса ее составляющих. Представим исследуемую динамическую модель совокупностью трех нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = xF_1(x, y, z); \\ \frac{dy}{dt} = yF_2(y, x, z); \\ \frac{dz}{dt} = zF_3(z, x, y), \end{cases} \quad (2)$$

где $F_1(x, y, z)$; $F_2(y, x, z)$; $F_3(z, x, y)$ – нелинейные функции, отражающие в общем виде влияние внутренних взаимодействий между составляющими x , y и z системы и внешних воздействий на динамику системы.

Применительно к рассматриваемой природосоциотехнической структуре динамическая модель тройственного баланса может быть описана следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = xF_1(x, Z_{ПС}, Y_{ПС}); \\ \frac{dy}{dt} = yF_2(x_{СС}, y, Z_{СС}); \\ \frac{dz}{dt} = zF_3(x_{АТС}, y_{АТС}, z), \end{cases} \quad (3)$$

где $\frac{dx}{dt}$ – темп изменения состояния природной составляющей природосоциотехнической структуры; $\frac{dy}{dt}$ – темп изменения состояния социальной составляющей природосоциотехнической структуры; $\frac{dz}{dt}$ – темп изменения состояния автотранспортной составляющей природосоциотехнической структуры; $F_1(x, Y_{ПС}, Z_{ПС})$, $F_2(x_{СС}, y, Z_{СС})$, $F_3(x_{АТС}, y_{АТС}, z)$ – нелинейные функции; x – множество состояний природной составляющей; $Y_{ПС}$ – воздействия социальной составляющей на природную среду; $Z_{ПС}$ – воздействия производственно-технической составляющей на природную среду; y – множество состояний социальной составляющей; $x_{СС}$ – воздействия природной составляющей на социальную среду; $Z_{СС}$ – воздействия производственно-технической составляющей на социальную среду; z – множество состояний производственно-технической составляющей; $y_{АТС}$ – воздействия социальной составляющей на автотранспортную составляющую; $x_{АТС}$ – воздействия природной составляющей на автотранспортную составляющую.

Для формализации состояния рассматриваемой системы был использован теоретико-множественный подход, определяющий введенные на рисунке параметры:

X – множество состояний природной составляющей, которые зависят от воздействия на нее, – объектов автотранспортной инфраструктуры, человека как части природы и внешней среды;

Z – множество состояний автотранспортной составляющей, которые будут определяться объектами, представляющими автотранспортную инфраструктуру городского хозяйства и параметрами, характеризующими эти объекты;

Y – множество состояний социальной составляющей, характеризуемой как «человеческий потенциал» в составе рассматриваемой системы и зависящей от воздействия двух других составляющих.

Взаимодействия в составе анализируемой природосоциотехнической системы описываются множествами:

X_{ATC}, X_{CC} – множества воздействий природной составляющей на автотранспортную и социальную составляющие: ($X_{ATC}, X_{CC} \subset X$);

Z_{PC}, Z_{CC} – множества воздействий автотранспортной составляющей на природную и социальную среды: ($Z_{PC}, Z_{CC} \subset Z$);

Y_{ATC}, Y_{PC} – множества воздействий социальной составляющей на автотранспортную и природную составляющие: ($Y_{ATC}, Y_{PC} \subset Y$).

Осуществление интегральной оценки состояния природосоциотехнической структуры АТС возможно с применением математического аппарата нечеткой логики [4], который является универсальным для различных прикладных областей и базируется как на данных экспериментальных исследований отдельных показателей состояния, так и на результатах моделирования функциональных связей между ними, т. е. является синтезирующим для расчета тройственного баланса биотехносферы. Оценку необходимо выполнить для каждой из трех составляющих анализируемой структуры.

В качестве критерия оценки состояния природной среды была использована лингвистическая переменная *уровень состояния природной составляющей*, представленная коротежем:

$$\langle N, T(N), B^N, G^N, H^N \rangle, \quad (4)$$

где N = «уровень состояния природной составляющей» – название переменной; $T(N)$ – терм-множество переменной N , т. е. множество значений лингвистической переменной, областью определения каждого из которых является числовое множество B ; B^N – набор количественных характеристик, на основании которых возможно определить принадлежность уровня состояния природной составляющей к значениям, входящим в $T(N)$; G^N – синтаксические правила, порождающие термы. Элементы множества G^N предназначены для обеспечения возможности формирования значений N , детализирующих состояние природной составляющей; H^N – семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами G .

Для оценки целесообразно использовать составную лингвистическую переменную, что позволит сформировать зависимость конечного результата от комбинаций промежуточных результатов по компонентам данной переменной. Таким образом, учитывая принципы биосферной совместимости, лингвистическая переменная «уровень состояния природной составляющей» будет получена на основе: показателей состояния компонентов природной среды, наиболее подверженных негативному воздействию (загрязнению) от автотранспортной составляющей; показателей, отражающих способность природной среды к регенерации и восстановлению с учетом участия социальной составляющей. На этом основании: $N = \{N_1, N_2\}$, где N_1 = *уровень загрязнения* и N_2 = *уровень регенерации (восстановления)*. В свою очередь, переменные N_1 и N_2 также являются состав-

ными, и количество компонентов этих переменных зависит от выбранного нами уровня детализации.

Для описания состояния природной составляющей предлагаются следующие термы:

$T(N)_1$ = *ассимиляционный*, когда все показатели качества компонентов природной среды, по совокупному состоянию которых производится оценка, соответствуют состоянию сохранения и способности ее к воспроизводству своих качеств в определенном промежутке времени. Другим словами, соответствуют состоянию экологического баланса и устойчивости урбанизированной территории и состоянию, обеспечивающему прогрессивное развитие человека на этой территории;

$T(N)_2$ = *переходный*, когда часть показателей качества компонентов природной среды, по совокупному состоянию которых производится оценка, соответствует состоянию сохранения и способности к воспроизводству своих качеств в определенном промежутке времени. Наблюдается тенденция к установлению экологического баланса урбанизированной территории;

$T(N)_3$ = *диссимиляционный*, когда все показатели качества компонентов природной среды, по совокупному состоянию которых производится оценка, не соответствуют состоянию, обеспечивающему прогрессивное развитие человека и градационное устойчивое развитие урбанизированной территории, а наоборот, способствуют деградации и регрессу.

Аналогичным образом необходимо дать оценку состояния по двум другим составляющим. Поскольку для оценки состояния автотранспортной составляющей мониторинг осуществляется по двум направлениям, будем использовать составную лингвистическую переменную, полученную на основе показателей состояния компонентов производственной среды автотранспортной инфраструктуры, отражающих: потребление ресурсов природной среды и внедрение (реализацию) биосферосовместимых технологий. На этом основании: $M = \{M_1, M_2\}$, где M_1 = *уровень потребления ресурсов* и M_2 = *уровень внедрения биосферосовместимых технологий*. В свою очередь, переменные M_1 и M_2 также являются составными для выбранного нами уровня детализации: $M_1 = \{M_{11}, M_{12}, M_{13}\}$, т. е. M_{11} = *уровень электропотребления*; M_{12} = *уровень водопотребления*; M_{13} = *уровень отчуждения земель*; $M_2 = \{M_{21}, M_{22}\}$, т. е. M_{21} = *уровень состояния производственной среды*; M_{22} = *уровень состояния автотранспортных средств*.

Терм-множество переменной M = *уровень состояния автотранспортной составляющей* $T(M) = \{T(M)_1, T(M)_2\}$, где термы:

$T(M)_1$ = *инновационный*, когда все показатели качества компонентов автотранспортной составляющей, по совокупному состоянию которых производится оценка, соответствуют значению, обеспечивающему инновационное развитие автотранспортной инфраструктуры;

$T(M)_2$ = *переходный*, когда только часть показателей качества компонентов автотранспортной составляющей, по совокупному состоянию которых производится оценка, соответствует значению, обеспечивающему инновационное развитие транспортной инфраструктуры;

$T(M)_3$ = *стагнационный*, когда все показатели качества компонентов автотранспортной составляющей, по совокупному состоянию которых производится оценка, соот-

ветствуют значению, не обеспечивающему инновационное развитие автотранспортной инфраструктуры, а наоборот, стагнацию процессов, сопровождающуюся загрязнением природной среды и игнорирование основных принципов качества жизни с участием автотранспорта.

По аналогии с коротким описанием лингвистической переменной для оценки состояния природной составляющей в формуле (4): $T(S)$ – терм-множество переменной S , областью определения которого является числовое множество B^S ; G^S – синтаксические правила; H^S – семантические правила, используемые для оценки социальной составляющей. Для оценки этой составляющей будем использовать составную лингвистическую переменную, полученную на основе показателей, отражающих: опосредованное влияние элементов автотранспортной инфраструктуры через природную среду на здоровье человека и удовлетворенность в транспортных услугах. На этом основании: $S = \{S_1, S_2\}$, где S_1 = *уровень опосредованного влияния техносферы* и S_2 = *уровень реализации потребности и уровень безопасности*. В свою очередь, переменные S_1 и S_2 также являются составными для выбранного нами уровня детализации: $S_1 = \{S_{11}, S_{12}, S_{13}\}$, т. е. S_{11} = *продолжительность жизни и индекс долголетия*, S_{12} = *уровень заболеваемости*, S_{13} = *индекс смертности*; $S_2 = \{S_{21}, S_{22}, S_{23}\}$, т. е. S_{21} = *уровень насыщенности автотранспортными средствами*, S_{22} = *уровень аварийности*, S_{23} = *уровень удовлетворенности спроса*.

Вопрос о структуре и показателях «качества жизни» остается пока дискуссионным, поэтому для описания состояния социальной составляющей введены следующие термины:

$T(S)_1$ = *комфортный*, когда показатели компонентов социальной составляющей, по совокупному состоянию которых производится оценка, соответствуют значениям, обеспечивающим качество жизни и развитие человека на данной урбанизированной территории;

$T(S)_2$ = *некомфортный*, когда все меньшая часть показателей компонентов социальной составляющей, по совокупному состоянию которых производится оценка, соответствуют значениям, обеспечивающим качество жизни и развитие человека на данной урбанизированной территории;

$T(S)_3$ = *безопасный*, когда все показатели компонентов социальной составляющей, по совокупному состоянию которых производится оценка, соответствуют значениям, обеспечивающим безопасность среды жизнедеятельности для данной урбанизированной территории;

$T(S)_4$ = *небезопасный*, когда все меньшая часть показателей компонентов социальной составляющей, по совокупному состоянию которых производится оценка, соответствует значениям, обеспечивающим безопасность среды жизнедеятельности для данной урбанизированной территории.

Для синтеза результата от комбинаций элементов составных лингвистических переменных строится набор условных правил логического вывода «если «набор условий», то «Вывод»».

Изложенный в работе метод идентификации функциональных связей между составляющими природосоциотехнической структуры АТС позволяет рассматривать системы жизнеобеспечения городского хозяйства с позиции парадигмы биосферной совместимости. Применение динамической модели (1–3) для оценки ее состояния уместно,

поскольку в рассматриваемой природосоциотехнической структуре коэффициенты изменения состояния ее составляющих изменяются во времени. Начальные условия принимаются на основе данных мониторинга, сбора и обработки соответствующей статистической информации за определенный промежуток времени, и в будущем динамика изменения этих коэффициентов, естественно, не будет оставаться синхронной. Использование аппарата нечеткой логики для интегральной оценки состояния анализируемой структуры позволяет учитывать как количественные, так и качественные значения оцениваемых параметров трудноформализуемых процессов состояния различных систем жизнеобеспечения городского хозяйства.

Список литературы

1. Петрухин В.А. Аналитический доклад: Воздействие транспортного комплекса РФ на состояние окружающей среды и здоровье населения / ФГУП НИИАТ, М.: НПСТ «Трансконсалтинг», 2008. 68 с.
2. Ильичев В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека // М.: Градостроительство. 2009. № 3. С. 20–30.
3. Ильичев В.А. Может ли город быть биосферосовместимым и развивающим человека? М.: Архитектура и строительство Москвы. 2009. № 1. С. 10–13.
4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 161 с.

22–25 января 2013 | Красноярск



XXI выставка
**СТРОИТЕЛЬСТВО
АРХИТЕКТУРА**



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

Организатор – ВК «Красноярская ярмарка»
Официальная поддержка:



сибирь
федеральный исследовательский центр
имени Коперника

УДК 621.45.038.77

Л.А. ГУЛАБЯНЦ, д-р техн. наук,
НИИСФ РААСН (Москва)

Противорадоновая защита жилых и общественных зданий (Пособие по проектированию, проект)

Часть IV [1, 2, 3]

Приведен инженерный метод приближенного расчета требуемых параметров противорадоновой защиты здания, при которых прогнозируемое значение ЭРОА радона в воздухе помещений не превышает заданного значения.

Ключевые слова: расчет ЭРОА радона, ограждающие конструкции, диффузионный перенос радона, сопротивление радонопроницанию, поступления радона в здание.

Расчет параметров противорадоновой защиты

Цель и условия расчета

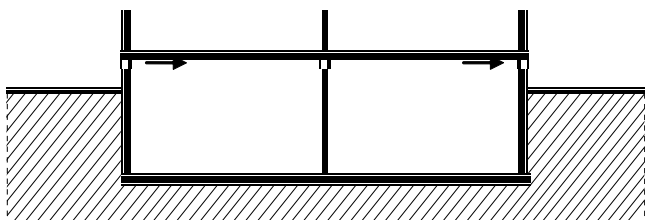
В нормах радиационной безопасности установлено предельное допустимое значение среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) дочерних продуктов радона и торона во внутреннем воздухе – 100 Бк/м³. В соответствии с концепцией защиты населения от облучения природными радионуклидами следует стремиться к максимальному, социально и экономически обоснованному снижению этой величины. Доминирующий вклад в формирование дозы облучения вносят дочерние продукты распада радона.

При проектировании защитных мероприятий расчетные значения ЭРОА_{расч} радона рекомендуется принимать:

- для зданий детских, спортивных и лечебно-оздоровительных учреждений в интервале 10–30 Бк/м³;
- для жилых и общественных зданий в интервале 30–50 Бк/м³.

Цель проектного расчета заключается в определении параметров защиты, при которых ожидаемое (прогнозируемое) значение ЭРОА радона в здании (ЭРОА_{прог}) не превышает расчетного значения (ЭРОА_{расч}). Расчет производится на стадии подготовки рабочей документации проекта с использованием данных инженерно-геологических и радоновых изысканий, проведенных на участке застройки.

Расчетная схема здания (рисунок) включает в себя его грунтовое основание, граничащую с основанием горизон-



Расчетная схема здания

тальную ограждающую конструкцию, верхнее перекрытие, внутренние и наружные стены. В расчете учитываются поступления радона от внутренних поверхностей перечисленных конструкций и интенсивность воздухообмена в помещении.

Принимаемые при расчете условия:

- содержание радона в наружном воздухе пренебрежимо мало;
- поступления радона, проникающего из грунта в помещение через вертикальные заглубленные стены, пренебрежимо малы;
- грунты – коллекторы радона в основании здания отсутствуют;
- площадь застройки расположена вне зоны текущей активной геодинамики;

Таблица 1

$n, \text{ч}^{-1}$	$n \cdot 10^5, \text{с}^{-1}$	F	$n, \text{ч}^{-1}$	$n \cdot 10^4, \text{с}^{-1}$	F
0	00	0,79	1,6	4,44	0,37
0,1	2,78	0,74	1,7	4,72	0,36
0,2	5,56	0,7	1,8	5	0,35
0,3	8,33	0,66	1,9	5,28	0,34
0,4	11,1	0,62	2	5,56	0,33
0,5	13,9	0,59	2,1	5,83	0,32
0,6	16,7	0,56	2,2	6,11	0,32
0,7	19,4	0,53	2,3	6,39	0,31
0,8	22,2	0,5	2,4	6,67	0,3
0,9	25	0,48	2,5	6,94	0,3
1	27,8	0,46	2,6	7,22	0,29
1,1	30,6	0,44	2,7	7,5	0,28
1,2	33,3	0,42	2,8	7,78	0,28
1,3	36,1	0,4	2,9	8,06	0,27
1,4	39	0,39	3	8,33	0,26
1,5	41,7	0,38	3,1	8,61	0,25

Таблица 2

Материал	$D, \text{ м}^2/\text{с}$	$L, \text{ мм}$
Воздух	1×10^{-5}	2182
Вода	1×10^{-9}	22
Бетон класса не ниже В20 на цементном связующем и тяжелом заполнителе, армированный ^{1), 2), 3)}	$1,1 \times 10^{-7}$ (100)	229
	$7,5 \times 10^{-8}$ (150)	189
	$5,3 \times 10^{-8}$ (200)	159
	$3,7 \times 10^{-8}$ (250)	133
	$2,9 \times 10^{-8}$ (300)	117
	$2,4 \times 10^{-8}$ (350)	107
	2×10^{-8} (400)	98
	$1,8 \times 10^{-8}$ (450)	99
	$1,7 \times 10^{-8}$ (500)	90
	$1,6 \times 10^{-8}$ (550)	87
$1,5 \times 10^{-8}$ (>600)	84	
Битум дорожный и строительный модифицированный ³⁾	1×10^{-10}	7
Покрываемое напыляемое эластомерное на основе поликарбамида «Экстраплан 502» ³⁾	$6,1 \times 10^{-11}$	5
Кровельный и гидроизоляционный рулонный наплавляемый битумно-полимерный водостойкий –ТЕХНОЭЛАСТ по ТУ 5774-003-00287852-99 ³⁾	$1,3 \times 10^{-10}$	8
Гидрогазоизоляционный рулонный наплавляемый битумно-полимерный – ТЕХНОЭЛАСТ-АЛЬФА по ТУ 5774-041-17925162-2006. 3)	$0,9 \times 10^{-10}$	7
Гидроизоляционный плоский или объемный на основе полиэтилена низкой плотности (LDPE), гибкого поливинилхлорида (PVC-P), полипропилена (PP), термопластичного полиолефина (ТРО), полиуретана (PU), этиленпропиленового каучука с диеновым мономером (EPDM), битума, модифицированного сополимером этилена (ЕСВ) ⁴⁾	$<2,5 \times 10^{-10}$	<11
Полимербетон ⁴⁾	$<1 \times 10^{-12}$	<1
Покрываемое из напыляемой эмульсии на основе битумно-латексной смеси ⁴⁾	$<3 \times 10^{-10}$	<12
Рулонный на основе полиэтилена высокой плотности ³⁾	$0,8 \times 10^{-11}$	2
Примечания:		
1) Для воздушно-сухого бетона с учетом влияния усадочных микротрещин.		
2) В скобках показана толщина слоя в мм.		
3) Результаты испытаний.		
4) Справочные значения.		

– щели в граничащей с грунтом конструкции, а также подземные узлы прохода в здание инженерных коммуникаций надежно уплотнены.

Ожидаемое значение ЭРОА радона в помещении вычисляется по формуле:

$$\text{ЭРОА}_{\text{прог.}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=6} Q_i \cdot S_i + Q_n \cdot S_n}{V \cdot (\lambda + n)} \cdot F, \quad (1)$$

где 1, 2, ... 6 – порядковые номера внутренних поверхностей ограждающих конструкций; Q_i – значения удельных плотностей потоков радона, поступающих в помещение от внутренних поверхностей ограждающих конструкций вследствие выделения радона в материалах конструкций, Бк/(м²·с); Q_n – удельная плотность потока радона, проникающего в помещение из грунта через горизонтальную ограждающую конструкцию (конструкцию пола), Бк/(м²·с); S_i – площади внутренних поверхностей ограждающих конструкций, м²; S_n – площадь пола, м²; V – объем помещения, м³; $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6}$ – постоянная распада радона, с⁻¹; n – кратность воздухообмена (по притоку наружного воздуха), с⁻¹; F – коэффициент сдвига радиоактивного равно-

Таблица 3

Материал	Толщина слоя, мм	$R, \text{ с/м}$
Монолитный армированный плотный товарный бетон класса не ниже В20 на цементном связующем и тяжелом заполнителе ¹⁾	100	$9,38 \times 10^5$
	150	$2,22 \times 10^6$
	200	$4,85 \times 10^6$
	250	$1,15 \times 10^7$
	300	$2,59 \times 10^7$
	350	$5,87 \times 10^7$
	400	$1,3 \times 10^8$
	450	$3,07 \times 10^8$
	500	$6,86 \times 10^8$
	550	$1,49 \times 10^9$
600 и более	$3,41 \times 10^9$	
Рулонный гидроизоляционный армированный на битумно-полимерной основе ²⁾	3	$3,1 \times 10^7$
	6	$6,79 \times 10^7$
	9	$1,18 \times 10^8$

Таблица 4

Материалы	$k_{\text{эм}}$	Источник
Бетон тяжелый	0,11	[3]
Кирпич красный	0,015	[1]
Кирпич силикатный	0,1	[3]
Гипс строительный	0,044	[1,3]
Туф	0,014	[1,3]

веса между радоном и его дочерними продуктами. Коэффициенты сдвига радиоактивного равновесия ДПР во внутреннем воздухе при различных кратностях воздухообмена [A] приведены в табл. 1.

Удельные значения потоков радона, поступающих в помещение от внутренних поверхностей ограждающих конструкций, зависят от их параметров и величины радоновой нагрузки.

Параметры ограждающих конструкций

Параметром, характеризующим радонозащитную способность ограждающей конструкции, является величина ее **сопротивления радонопроницанию**. Сопротивление радонопроницанию ($R, \text{ с/м}$) представляет разность объемных активностей радона на границах конструкции (Бк/м³), при которых через них проникает поток радона плотностью 1 Бк/(м²·с). Сопротивление радонопроницанию однослойной конструкции вычисляется по формуле:

$$R = \frac{L \cdot sh\left(\frac{h}{L}\right)}{D}, \quad (2)$$

где D – объемный коэффициент диффузии радона в материале слоя, м²/с; h – толщина слоя, м; L – длина диффузии радона в материале слоя, м.

Справочные значения коэффициентов и длин диффузии радона в строительных материалах приведены в табл. 2.

Суммарное сопротивление радонопроницанию многослойной конструкции с разнородными слоями приближенно (с незначительным занижением определяемой величины) вычисляется по формуле:

$$R = R_i + R_i + 1 + \dots + R_n, \quad (3)$$

где R_i – сопротивление радонопроницанию i -го слоя, определяемое по формуле (2); $i = 1, 2, \dots, n$ – порядковый номер слоя.

Таблица 5

Литолого-генетический тип породы	$k_{эм,гр}$
Глины покровные четвертичные (pr Q II–III)	0,45
Глины среднеюрского периода (J2 bt+cl)	0,45
Глины юрского периода оксфордского яруса (J3 oxf)	0,6
Глины каменноугольного периода (C2–3)	0,5
Пески аллювиальные и флювиогляциальные (aQIII–IY, flQII)	0,45
Суглинки моренные (gQIId,m)	0,35
Мергели четвертичные (Im,bQIII)	0,6
Известняки каменноугольного периода (C2–3)	0,2
Песчаники среднеюрского периода (J2 bt+cl)	0,1
Пески пылеватые и глинистые	0,15
Конгломераты	0,15

Таблица 6

$\Pi_{гр}$, Бк/м ³	$R_{гр}$, с/м	
	$Q_n = 5$ мБк/(м ² ·с)	$Q_n = 10$ мБк/(м ² ·с)
10 000	1×10^6	2×10^6
20 000	2×10^6	4×10^6
30 000	3×10^6	6×10^6
40 000	4×10^6	8×10^6
50 000	5×10^6	1×10^7
60 000	6×10^6	$1,2 \times 10^7$
70 000	7×10^6	$1,4 \times 10^7$
80 000	8×10^6	$1,6 \times 10^7$
90 000	9×10^6	$1,8 \times 10^7$
100 000	1×10^7	2×10^7
110 000	$1,1 \times 10^7$	$2,1 \times 10^7$
120 000	$1,2 \times 10^7$	$2,4 \times 10^7$
130 000	$1,3 \times 10^7$	$2,6 \times 10^7$
140 000	$1,4 \times 10^7$	$2,8 \times 10^7$
150 000	$1,5 \times 10^7$	3×10^7

Суммарное сопротивление радонопроницанию большинства обычно используемых конструкций определяется свойствами одного или двух основных наименее газопроницаемых слоев. Сопротивления таких вспомогательных слоев, как песчаная и гравийная подсыпка, выравнивающая и защитная стяжка и т. п., в силу их небольшой толщины и высокой газопроницаемости, допускается не учитывать.

Сопротивления радонопроницанию слоев бетона и некоторых гидрогазоизоляционных материалов приведены в табл. 3.

Поступления радона в помещение

Приближенное среднее значение плотности потока радона, выделяемого на поверхностях стен, перегородок и верхнего перекрытия, может быть принято равным 2,5 мБк/(м²·с). Более точно потоки от каждой из конструкций могут быть рассчитаны по формуле:

$$Q_i = \frac{C_{Ra,i} \cdot \rho_i \cdot k_{эм,i} \cdot D_i}{L_i} \cdot \tanh\left(\frac{h_i}{2L_i}\right), \quad (4)$$

Таблица 7

Исходные данные		$R_{гр}$
Фундамент	Свайный с ленточным ростверком	
Стены и перекрытие	Бетонные панели	
Пол техподполья	Плита из монолитного бетона класса В20 толщ. 100 мм по 100 мм подготовке из тощего бетона	
Помещение:	длина ширина высота	6 м 6 м 2,7 м
Кратность воздухообмена	n	0,3 ч ⁻¹ ($8,33 \times 10^{-5}$ с ⁻¹)
Расчетное значение ЭРОА радона в помещении	ЭРОА _{расч}	35 Бк/м ³
Грунт в основании здания – глина	C_{Ra} ρ $k_{эм}$	40 Бк/кг 1980 кг/м ³ 0,45

Расчет			
Радоновый потенциал грунта	$\Pi_{гр}$	35640 Бк/м ³	По формуле (6)
Объем помещения	V	97,2 м ³	
Суммарная площадь внутренних поверхностей ограждающих конструкций помещения	$\sum_{i=1}^6 S_i$	136,8 м ²	Без учета площади проемов
Коэффициент сдвига радиоактивного равновесия	F	0,66	По табл. 1
Плотность потока радона, поступающего в помещение от внутренних поверхностей ограждающих конструкций вследствие выделения радона материалами конструкций	Q_i	$2,5 \times 10^{-3}$ Бк/(м ² ·с)	Принято без расчета
Допустимая величина плотности потока радона, проникающего в помещение из грунта через плиту пола техподполья	$Q_{н,доп}$	$2,7 \times 10^{-3}$ Бк/(м ² ·с)	По формуле (7)
Сопротивление радонопроницанию плиты пола техподполья	R	$9,38 \times 10^5$ с/м	По табл. 3 (или по формуле (2))
Требуемое значение сопротивления радонопроницанию конструкции пола		$1,3 \times 10^7$ с/м	По формуле (8)
Вывод: заданные в условиях расчета требования (ЭРОА ≤ 35 Бк/м ³ при $n=0,3$ ч ⁻¹) выполняются при сопротивлении радонопроницанию конструкции пола техподполья, составляющей не менее $1,3 \times 10^7$ с/м. Состав конструкции пола целесообразно дополнить, например, одним слоем рулонного гидроизоляционного материала на битумно-полимерной основе ($R=3,1 \times 10^7$ с/м).			

где $i = 1, 2, \dots, 5$ – порядковый номер ограждающей конструкции помещения; $C_{Ra,i}$, ρ_i , $k_{эм,i}$, D_i , L_i , h_i – физические характеристики основного слоя i -й конструкции.

Справочные значения коэффициентов эманирования радона в строительных материалах приведены в табл. 4 [5].

Плотность потока радона, поступающего от внутренней поверхности граничащей с грунтом горизонтальной конструкции (пола подвала или подполья), определяется как:

$$Q_n = \frac{\Pi_{гр}}{R}, \quad (5)$$

где $\Pi_{гр} = C_{Ra,гр} \cdot \rho_{гр} \cdot k_{эм,гр}$ – радоновый потенциал грунта, Бк/м³; $C_{Ra,гр}$, $\rho_{гр}$, $k_{эм,гр}$ – максимальные значения удельной

активности радия, плотности, коэффициента эманации радона для грунтов, залегающих в основании здания на глубину до 3 м.

Расчетные значения величин $C_{Ra,гр}$ и $\rho_{гр}$ принимаются по данным инженерных радиационно-геологических изысканий. Справочные значения коэффициентов эманации радона в грунтах приведены в табл. 5 [6].

Для выполнения условия $ЭРОА_{прог} \leq ЭРОА_{расч}$ требуется, чтобы плотность проникающего в помещение из грунта потока радона Q_n не превышала допустимой величины $Q_{n,доп}$, которая вычисляемой по формуле:

$$Q_{n,доп} = \frac{ЭРОА_{расч} \cdot V \cdot (\lambda + n) - \sum_{i=1}^{i=6} Q_i \cdot S_i \cdot F}{S_n \cdot F} \quad (6)$$

Требуемое для выполнения условия $Q_n \leq Q_{n,доп}$ значение сопротивления радонопроницанию горизонтальной конструкции $R_{тр}$ определяется по формуле:

$$R_{тр} = \frac{\Pi_{Rn}}{Q_{n,доп}} \quad (7)$$

Сопротивление радонопроницанию проектируемой конструкции R должно быть не менее величины $R_{тр}$.

Вычисленные для различных значений радонового потенциала грунта значения $R_{тр}$, при которых значения Q_n составляют 5 и 10 МБк/(м²·с), приведены в табл. 6.

Пример расчета величины $R_{тр}$ при заданных расчетных значениях величин $ЭРОА_{расч}$ радона в помещении и кратности воздухообмена приводится в табл. 7.

Критические замечания просьба направлять по адресу: posobie2012@yandex.ru.

Список литературы

1. Гулябянц Л.А. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. Ч. I // Жилищное строительство. 2012. № 2. С. 28–31.
2. Гулябянц Л.А. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. Ч. II // Жилищное строительство. 2012. № 3. С. 27–31.
3. Гулябянц Л.А. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. Ч. III // Жилищное строительство. 2012. № 5. С. 28–32.
4. Цапалов А.А. Оценка среднегодового уровня ЭРОА радона в помещениях на основе результатов краткосрочных измерений радиометром АльфаАЭРО // АНРИ. 2008. № 3. С. 49–58.
5. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат. 1989. 119 с.
6. Микляев П.С. Исследования коэффициента эманации грунтов // АНРИ. 2005. № 2. С. 30–38.



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЦЕНТР ПРОЕКТНОЙ ПРОДУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ» (ОАО ЦПП)

ОСУЩЕСТВЛЯЕТ

ведение Федерального фонда нормативной, методической, типовой проектной документации и других изданий для строительства, архитектуры и эксплуатации зданий и сооружений.

ИЗДАЕТ И РАСПРОСТРАНЯЕТ

- федеральные нормативные документы (СНиП, ГСН, ГЭСН, ФЕР, ГОСТ, ГОСТ Р, СП, СН, РДС, НПБ, СанПиН, ГН) — официальные издания
- методические документы и другие издания по строительству (рекомендации, инструкции, указания)
- типовую проектную документацию (ТПД) жилых и общественных зданий, предприятий, зданий и сооружений промышленности, сельского хозяйства, электроэнергетики, транспорта, связи, складского хозяйства и санитарной техники

- справочно-информационные издания о нормативной, методической и типовой проектной документации (Информационный бюллетень, Перечни НМД и ТПД и др.)
- Общероссийский строительный каталог (тематические каталоги, перечни, указатели)
- проекты коттеджей, садовых домов, бань, хозяйственных построек, теплиц

ОАО ЦПП осуществляет сертификацию проектной документации на строительные конструкции и объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений. Центр аккредитован в качестве Органа по сертификации в Системе ГОСТ Р (ОС «ГУП ЦПП» — аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.11CP48).

ТЕЛЕФОНЫ ДЛЯ СПРАВОК

ОТДЕЛ ЗАКАЗОВ И РЕАЛИЗАЦИИ	(495)482-4294	ОТДЕЛ ФОНДА ДОКУМЕНТАЦИИ	(495)482-4112
ПРОЕКТНЫЙ КАБИНЕТ	(495)482-4297	ОТДЕЛ СЕРТИФИКАЦИИ	(495)482-0778
ФАКС: (495)482-4265			

Наш адрес: 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, корп. 2

УДК 502:69

*А.Л. БОЛЬШЕРОТОВ, канд. техн. наук,
Московский государственный строительный университет*

Взаимосвязь развития строительства и экологических проблем

Проблемы экологической безопасности тесно связаны с развитием строительной отрасли. Строительство, создавая человеческую цивилизацию, породило и комплекс проблем, в том числе экологические. Учет этих тенденций необходим при массовом строительстве, таком как освоение новой территории Москвы.

Ключевые слова: экологическая безопасность, окружающая среда, экологические проблемы городов.

В конце 1960-х гг. многие развитые страны наконец осознали глубину экологических проблем и необходимость активного вмешательства в процесс регулирования отношений между промышленным производством и окружающей средой.

Острота проблемы экологии в развитых странах в то время сформулирована в высказывании профессора Колумбийского университета Б. Уорда и сотрудника Рокфеллеровского центра Б. Дюбо, сделанном в 1975 г., о том, что если в ближайшие десятилетия человечество будет продолжать сочетать научные исследования с экономической алчностью и национальным высокомерием, будут ли у человечества шансы сохранить на Земле благоприятную для обитания среду к 2000 г.

К счастью, эти мрачные прогнозы не сбылись. Именно в это время были приняты первые законы экологического регулирования в США, Канаде и других странах. Гражданское общество, общественные организации получили возможность активно влиять на обеспечение экологической безопасности при реализации любых проектов.

Но до этого существовал тысячелетний опыт взаимоотношений человека и природы, который и предопределил необходимость экологического регулирования.

По соотношению степени воздействия человека на природу и ее возможности к восстановлению утраченного всю историю взаимоотношений человека с окружающей средой можно разбить на три периода.

Первый – когда природа дает человеку столько ресурсов, сколько ему нужно, без ущерба для своего воспроизводства. Второй – когда человек расширяет сферу своей хозяйственной деятельности, период развития скотоводства и земледелия, за счет освобождения территории от лесов под поля и пастбища. И третий – когда человек переступает границу оптимального потребления и начинает брать у природы больше, чем она может воспроизвести.

Границы первого и второго периодов лежат на удалении от сегодняшнего дня на 2,5–10 тысячелетий, а вот граница второго и третьего периодов совсем рядом – 150–400 лет назад, это время начала промышленного производства.

В период допромышленного производства, в благополучной в экологическом отношении среде обитания человека также иногда складывались эколого-кризисные ситуации. Происходило это в том случае, когда человек своей деятельностью вызывал более глубокие неуправляемые про-

цессы в природе и в связи с этим возникали локальные экологические кризисы. Существует, к примеру, предположение, что древние цивилизации Америки (инков, ацтеков, майя) погибли в результате экологических кризисов, связанных с истощением почв [1]. Это же отмечено и в одном из документов Конференции ООН по проблемам окружающей среды в Стокгольме (1972 г.): «Падение некоторых прошлых цивилизаций, которые расцвели, несмотря на неблагоприятные экологические условия, было тесно связано с неправильной эксплуатацией природных ресурсов».

Но экологические кризисы возникали несистематически и касались только небольшой части населения и территории. В целом же общество и окружающая среда находились в сбалансированном состоянии, и не было тенденции к стабильному нарушению этого равновесия. Строительство, осуществляемое до начала третьего периода, не оказывало еще сильного отрицательного влияния на природу, а скорее способствовало улучшению условий жизни людей. Возводилось жилье, храмы, крепости, города. Ущерб, наносимый природе, в основном это лес и вода, из-за истребления ее ресурсов, для строительства, мог достаточно легко восполняться со временем естественным путем.

Значительное увеличение объемов строительства произошло с ростом числа городов, центров ремесла, торговли и культуры. В Германии, например, в XI веке было основано 400 городов, в XIV – 300, в XV – 100, а к концу средних веков их было около 3000. В Англии между 1099 и 1399 гг., возникло 148 городов, и общее число их к началу XV в. составило 244, а к 1649 г. возникло еще 32 города [2].

Города в своем развитии прошли сложный путь от ранних городов-гигантов (во II тысячелетии до н. э. население Ура достигало 200 тыс. человек, Фив – 225 тыс. человек, Рима в период расцвета – 1 млн человек), центров земледелия, до торгово-ремесленных городов, сыгравших огромную роль в зарождении капиталистических отношений.

Следует отметить, что строительство как механизм создания крупных поселений – городов причастно и к проблемам городов, созданных им. Город – это всегда проблема. В период неорганизованного ведения городского хозяйства, при определенных размерах города конфликт с окружающей средой возникает непременно. Это проблема бытовых отходов, проблема чистой воды, не зараженной стоками, пробле-

ма чистого воздуха. Как наглядный пример эпидемии инфекционных болезней: чумы, холеры, оспы, которые поражали в Средневековье в основном города. Только «черная смерть» 1347–1353 гг. унесла четверть населения Европы [3].

В середине тысячелетия нашей эры начинается эпоха великих географических открытий, переселения людей. Феодальный строй приходит в упадок. Начинают развиваться капиталистические отношения. Это выражается в коренном преобразовании в науке и технике, создании новых производительных машин, крупных фабрик, заводов, усилении эксплуатации природных ресурсов. Капитал стремится к безграничному развитию производительных сил. Природа становится из живого, естественного компонента среды обитания человека в полезную вещь, а теоретическое познание ее собственных законов имеет целью подчинить природу человеческим потребностям, будь то в качестве предмета потребления или в качестве средства производства.

В процесс промышленного производства вовлекаются все новые природные ресурсы, новые территории. Возрастает рост городского населения и городов. В начальной стадии капитализма развитие получает легкая промышленность. В этот период давление общества на природу носит еще умеренный характер, но уже появляются структурные сдвиги в сельскохозяйственном производстве. С возникновением тяжелой промышленности резко меняется, активно, нарастающими темпами начинает развиваться добывающая и топливная промышленность. Резко увеличивается добыча угля, руд, сырья. Увеличивается выплавка железа, других металлов, увеличивается производство промышленной продукции в целом (см. таблицы) [2].

Строительство капитальных сооружений превращается в крупную отрасль индустрии. Развиваются и сопутствующие отрасли строительного производства.

Дальнейшее развитие науки и техники дает миру паровую машину. Резко увеличивается транспортная сеть. Появляется возможность крупных и массовых перевозок. Появляется, наконец, электричество. Человек уже не ограничен энергетическими возможностями. Потребность в новых источниках сырья заставляет осваивать новые территории. Усиливаются темпы развития и сельскохозяйственного производства, причем развитие происходит не только за счет освоения новых территорий, но и за счет интенсификации, применения в большом количестве химических удобрений.

Такое сильное и активное воздействие на окружающую среду не может не сказаться на ее качественном и количественном состоянии. Природа уже не всегда может компенсировать свои убытки естественным воспроизводством.

Добыча каменного угля, млн т

Годы	Всего на земном шаре	В Англии	В Германии	В США
1800	15	10	1	–
1850	75	50	6	3,5
1912	1245	265	259	458

Добыча железной руды, млн т

Годы	1850	1860	1880	1900	1905	1912
Всего на земном шаре	11,5	18	43,7	92,2	117,1	157,2

Мировое производство железа, тыс. т

Годы	1850	1860	1870	1890	1900	1910
Всего на земном шаре	4187	7446	12021	27427	40972	54000

Расширению возможности использовать природные богатства на нужды капиталистического хозяйства способствует отмена феодальной собственности на землю, развитие науки и техники, ликвидация ранее существовавших социально-экономических ограничений. Расширение взаимоотношений с природой вовлекает в производство неограниченное количество природных ресурсов, в результате этого еще больше углубляется экологическая кризисная ситуация.

Наиболее активную роль в этом процессе занимает капитальное строительство. Строительство, являясь само по себе источником негативного воздействия на окружающую среду, порождает еще более мощный источник воздействия – активно действующие материальные объекты техноструктуры. Массовость, масштабность строительства, пренебрегая интересами окружающей среды, наносит ей невосполнимый ущерб. Уничтожается плодородный слой почвы, который создается природой тысячелетия. Вырубаются леса под новые строительные площадки и на нужды стройиндустрии. На месте добычи строительных материалов образуются огромные безжизненные овраги и котлованы. Эрозия почв способствует загрязнению воздуха пылью, понижается уровень грунтовых вод, что опять же приводит к гибели лесов. Отходы строительного производства загрязняют воду и почву. На стадии непосредственного строительства объекта происходит накопление отрицательных элементов воздействия на окружающую среду. На стадии эксплуатации объекта, особенно крупного промышленного предприятия, это воздействие во много раз усиливается. Теперь уже производство своими отходами загрязняет окружающую среду: газами и дымом – атмосферу, стоками – водоемы.

Строительство как элемент техноструктуры занимает свое место в среде обитания. Объем, качество строительства оказывают большое воздействие и на природу, и на человека, его психологию, социальную среду. Строительство всегда порождает комплекс экономических, технических и экологических проблем: загрязнение окружающей среды, экологическая проблема развития смежных отраслей, связанных со строительством; проблема обеспечения объектов сырьем, материалами, людскими ресурсами. В свою очередь, одни проблемы рождают другие. Людские ресурсы – это проблема жилья, отдыха людей, социально-психологического климата и многое другое. В конце концов, возникает проблема управления всей сложной системой взаимодействия строительства с окружающей средой.

Актуальность необходимости управления не вызывает сомнений, а огромный круг возникающих проблем указывает на то, что управление должно носить комплексный, планомерный и постоянный характер. Управление системой строительства – окружающая среда должно решать ряд экономических, экологических, социальных и моральных задач. Но для того, чтобы решать частные задачи, необходимо решить общие.

В связи с этим принципы управления системой строительства – окружающая среда должны базироваться, в первую очередь на анализе общих процессов взаимодействия между элементами окружающей среды. Выявленные закономерности этого взаимодействия распространяются и на процесс взаимоотношений строительства с окружающей средой. Оценка состояния взаимодействия элементов окружающей среды, их взаимосвязь должны основываться на исторических закономерностях их взаимодействия. Это позволит определить пути решения возникающих проблем.

Исторические этапы взаимодействия человека и природы различаются прежде всего масштабами и интенсивностью этого взаимодействия, обусловленными развитием промышленного производства.

Современное состояние окружающей среды – это суммарный результат взаимодействия человека и природы за время их взаимного существования.

Строительство как один из основных видов приложения труда человека сыграло значительную роль в формировании окружающей среды. Масовость и повсеместность строительства обуславливается потребностями бизнеса, а также задачами государства в развитии производственного потенциала, повышения жизненного уровня населения, заставляет обратить на него особое внимание как на преобразующую силу среды обитания человека и вызывает необходимость разумного планирования его для ослабления отрицательного воздействия на окружающую среду.

Наиболее сильное воздействие строительства на окружающую среду сказывается в местах концентрации недвижимости – в промышленных центрах, на заселенных территориях, в городах.

В настоящее время экологические проблемы городов решаются, но справиться полностью со всеми проблемами не удастся. Особенно сложна экологическая обстановка в крупных городах. Фактор концентрации большого количества объектов строительства на ограниченной территории и в современном городе является доминирующим в создании экологи-

ческих проблем и требует пристального внимания при проектировании и строительстве на уже застроенных территориях новых объектов и при освоении новых, таких как новая территория Москвы. Строительство, порождая города, порождает и проблемы городов, в том числе и экологические.

Существует, безусловно, и оптимальный объем строительства, сосредоточенного в одном месте, который не порождает экологических проблем, или эти проблемы, рассмотренные в комплексе с экономическими и социальными, позволяют получить управляемый положительный результат от строительной деятельности.

Возникшие в результате развития общества противоречия с природой присущи этому развитию, являются его составной частью. Отсюда и задачи, стоящие перед современной наукой, создать теорию управления средой обитания человека, основанную на законах развития общества и природы. Познание и правильное использование этих законов залог успешного решения поставленных задач.

Список литературы

1. *Dorst Jean. Avant que Nature meure. Switzerland, 1965. 504 с.*
2. *Авербух М.С. Законы народонаселения докапиталистических формаций М.: Наука, 1967. 119 с.*
3. *Большеротов А.Л. Система оценки экологической безопасности строительства. М.: АСВ, 2010. 216 с.*

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

М И С И



МГСУ
90 ЛЕТ

Национальный исследовательский университет — Московский Государственный Строительный Университет



проводит работы и научные исследования по **комплексной экологической безопасности** территорий и отдельных строительных объектов на базе современного высокоточного оборудования — **мобильной экологической лаборатории** анализа атмосферы, воды и почвы:

- оперативный контроль загрязнения воздуха промышленными выбросами, автомобильным транспортом и др. источниками;
- контроль загрязнения акватории водных объектов, подземных и грунтовых вод;
- оперативный анализ воды;
- анализ загрязнения почвенного покрова;
- оперативная оценка воздействия на окружающую среду различных физических факторов: теплового загрязнения, радиации, шума, излучений и т. д.

Для нового жилищного, рекреационного строительства и развития туризма:

- разработка и создание экологического паспорта территорий;
- выявление и сертификация эталонных экологических территорий;
- оценка степени концентрации строительства (недвижимости) урбанизированных территорий.

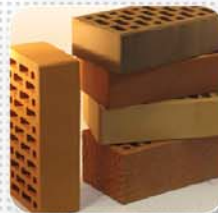
E-mail: stae@mgsu.ru Тел.: (499) 183 25 83; (499) 188 05 03
Москва, Ярославское шоссе, 26

Реклама

14-я специализированная выставка

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ОСМ 2013



30 января – 2 февраля

Москва, ЦВК «Экспоцентр»

www.osmexpo.ru

ОРГАНИЗАТОР:



ЕВРОЭКСПО

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР:



ОФИЦИАЛЬНЫЙ СПОНСОР:



СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР:



ПАРТНЕРЫ ВЫСТАВКИ:



Тел.: +7 (495) 925 65 61/62
E-mail: osm@osmexpo.ru

ИНФОРМАЦИОННАЯ
ПОДДЕРЖКА:



ПРОДУКТ
Коттеджей



СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ



Строительная и интерьерная выставка

SibBuild

СтройСиб

Новосибирск Экспоцентр



5-8 февраля 2013

- Строительные материалы и оборудование
- Инструменты и крепеж
- Натуральный и искусственный камень
- Бетоны. Растворы
Бетонные заводы

19-22 февраля 2013

- Отделочные материалы
- Двери и замки
- Краски. Сухие строительные смеси
- Керамика. Сантехника
- Инженерное оборудование
- Электрика. Системы автоматизации зданий



Генеральный интернет-партнер



ITE Сибирская Ярмарка
ул. Станционная, 104
тел.: +7 (383) 363 00 63
sibbuild@sibfair.ru
www.sibfair.ru

Генеральный информационный спонсор



Официальный партнер



Генеральный интернет-партнер



Информационные партнеры

