

**В. М. Уляшева, А. Ю. Мартьянова,  
Г. А. Рябев**

**ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ ЗДАНИЙ  
ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ  
В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**



**В. М. Уляшева, А. Ю. Мартьянова,  
Г. А. Рябев**

---

**ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗДАНИЙ  
ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

**В. М. Уляшева, А. Ю. Мартьянова,  
Г. А. Рябев**

**ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ ЗДАНИЙ  
ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ  
В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

Монография

Санкт-Петербург  
2020

УДК 697.1

*Рецензенты:*

д-р техн. наук, профессор *А. В. Цыганков*  
(Национальный исследовательский университет ИТМО);  
д-р техн. наук, профессор *Т. А. Дацюк* (СПбГАСУ)

**Уляшева, В. М.**

Тепловая защита и энергетические показатели зданий дореволюционной постройки в Санкт-Петербурге : монография / В. М. Уляшева, А. Ю. Мартьянова, Г. А. Рябев ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020. – 204 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1101-2

Монография посвящена актуальной проблеме совершенствования методов оценки показателей тепловой защиты зданий и расчета энергетических показателей зданий дореволюционной постройки. Приведены краткие исторические сведения об особенностях производства кирпича, строительства кирпичных доходных домов в Санкт-Петербурге и устройстве отопительных систем. Представлены данные натурных и лабораторных исследований теплотехнических характеристик зданий дореволюционной постройки в Санкт-Петербурге. Приведены результаты численного моделирования процессов теплообмена в ограждающих конструкциях доходных домов с использованием программных комплексов ANSYS и STAR-CCM+. На основании анализа результатов лабораторных и численных экспериментов получены новые данные о характеристиках тепловой защиты зданий. Выполнен анализ расхода тепловой энергии на отопление зданий доходных домов. Получены фактические показатели теплопотребления.

Результаты исследований могут быть полезны инженерно-техническим работникам при реконструкции инженерных систем исторических зданий, а также студентам высших технических учебных заведений.

Табл. 25. Ил. 98. Библ.: 159 назв.

*Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ*

ISBN 978-5-9227-1101-2

© Уляшева В. М., Мартьянова А. Ю.,  
Рябев Г. А., 2020  
© Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет, 2020

## Введение

Своеобразный архитектурный облик Санкт-Петербурга во многом определяют не только уникальные, но и жилые здания, в том числе так называемые доходные дома.

Во многих европейских странах, включая Россию, с учетом тенденции снижения энергопотребления требования к теплоизоляции зданий существенно увеличились. Однако для исторических зданий, представляющих культурную и архитектурную ценность, стремление обеспечить энергоэффективность может привести к потере уникальности не только отдельных зданий, но и исторических районов городов.

Так как теплоизоляция наружных ограждений имеет ограничения с архитектурной точки зрения, основным направлением исследований в области создания комфортных условий в помещениях является совершенствование технических решений систем обеспечения микроклимата. В первую очередь это касается систем отопления.

Жилищный комитет Администрации Санкт-Петербурга принял Региональную программу капитального ремонта многоквартирных жилых домов, рассчитанную на период до 2035 г. и включающую работы по капитальному ремонту систем отопления в 11,5 тыс. зданий, при этом 32 % зданий – жилые дома дореволюционной постройки.

Часто основной проблемой при исследованиях теплового режима исторических зданий является отсутствие достоверных данных о теплотехнических характеристиках ограждающих конструкций. Здесь представлены результаты натурных, лабораторных и численных экспериментов по исследованию теплотехнических характеристик наружных стен доходных домов. На основе анализа фактического теплопотребления жилыми зданиями дореволюционной постройки получены значения удельной теплозащитной характеристики и удельные расходы на отопление и вентиляцию доходных домов согласно требованиям современных нормативных документов.

Результаты исследований могут быть использованы при проектировании систем отопления и вентиляции в жилых домах до-революционной постройки в Санкт-Петербурге и других городах России, а также при исследованиях тепло- и влагообмена в пористых ограждающих конструкциях зданий.

Авторы выражают признательность канд. техн. наук, доценту В. Ф. Васильеву за ценные предложения.

# 1. ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ЗДАНИЙ ДЕРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

## 1.1. Архитектурные решения доходных домов Санкт-Петербурга

«Царь повелел в кирпиче дома строить» [1] – так началось масштабное строительство кирпичных зданий в Санкт-Петербурге во времена Петра I. На рис. 1 представлены первые проекты жилых домов в Санкт-Петербурге.

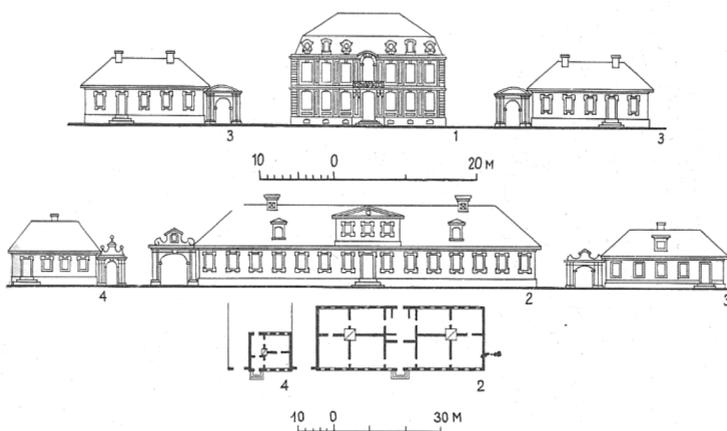


Рис. 1. Проекты серии образцовых домов Д. Трезини

С начала XVIII в. на территории Санкт-Петербурга сформировались в рамках единой архитектурно-планировочной системы различные типы конструктивного решения жилой застройки [2].

В течение XIX в. население и территория Санкт-Петербурга активно росли. С расширением территории города увеличивалось

и количество жилых домов, которые решали проблему размещения прибывавших в город людей. В 30–40-е гг. XIX в. развернулось массовое строительство так называемых доходных домов. Росло и число домовладельцев, некоторые из них возводили не по одному, а по несколько зданий, многие из которых не выставлялись на продажу, а сдавались в наем. Решение задачи на сравнительно небольших по площади земельных участках мог обеспечить только такой тип зданий, а сдача в наем квартир в них стимулировала активное привлечение в сферу строительства многоквартирных жилых домов больших объемов частного капитала. Темпы возведения зданий были очень высокими. К примеру, в 1845 г. доходный дом фабриканта Жукова в 4 этажа на углу Гороховой и Садовой был построен за 50 дней, но без внутренней отделки [2].

Здания строились высотой до 5–6 этажей – в соответствии с принятым в 1844 г. Государственным советом решением о предельной высоте домов в столице в 23,1 м, действовавшим до 1910 г. [2]. Со временем нижние этажи таких зданий переоборудовались под магазины, ателье, модные салоны и другие помещения нежилого назначения. На втором проживали конторские служащие. Самым престижным был третий этаж – там селились банкиры, купцы, промышленники. Выше третьего этажа жили люди победнее, а мансарды, мезонины и чердаки сдавались студентам и представителям богемы, иногда – отставным военным низших чинов. Богатые люди часто снимали целые этажи – «барские квартиры». Сами домовладельцы проживали тут же. В респектабельных доходных домах было две лестницы – парадная, нарядно оформленная и выходящая на улицу, и черная, выходящая во двор, – для прислуги, бедных жильцов и торговцев-разносчиков. Квартиры здесь оказывались намного дешевле, а лестница всего одна. Вопреки запрету Строительного устава на устройство жилых этажей с полами ниже тротуара, бедноте отводились даже подвалы и полуподвалы.

Приезжающие в Петербург на постоянное жительство чиновники, разные специалисты – от квалифицированных слесарей до

врачей, купеческих детей и жителей губерний, отправлявшихся в Петербург в поисках лучшей доли, – тоже выбирали для своего обитания доступные доходные дома.

Стремление домовладельцев к повышению доходности участков приводило к более плотной застройке, когда доходные дома или росли вверх, или расширялись внутри своих тесных по большей части дворов, не всегда доступных свежему воздуху и недостаточно освещенных. Так и появились дворы-колодцы, придавшие характерные черты облику города [1]. Попытки правительства урегулировать хоть в какой-то мере плотность застройки вылились во введение ряда ограничительных норм. Так, в соответствии со Строительным уставом, утвержденным в 1857 г., были выдвинуты требования по организации появляющихся внутренних дворов: *«Во всяком отдельном участке должен быть по крайней мере один двор, пространством не менее 30 кв. саженей, причем наименьшая ширина его должна быть не менее 3 саженей, остальные дворы могут быть и менее, но должны сообщаться проездами не менее 4,5 аршина с улицей или другими дворами»* [3]. К тому же Строительный устав разрешал ставить многоэтажные каменные флигели очень тесно, только чтобы между ними оставалось расстояние не менее 4,26 м.

Это привело к тому, что в XIX в. доля доходных домов стала составлять примерно 80 % от построек города, их насчитывалось несколько сотен – больше, чем где-либо в России. Здания возводились по индивидуальным проектам, не имея типовых планировочных решений. Некоторые из них переоборудовались из бывших особняков.

Как отмечено в работе [3], когда строительство доходных домов только начиналось, в архитектуре господствовал классицизм. Внешне доходные дома эпохи классицизма ничем не отличались от особняков или официальных зданий. Они также декорировались колоннами, портиками, пилястрами, фронтонами, лепниной, козырьками, скульптурой, облицовочной плиткой, рустом и т. д. Для доходных домов еще не появилось специальной архитектур-

ной формы – между обликом здания и его функцией возникало расхождение. Отличительная черта классицизма (симметричная система с подчеркнутым главенствующим центром) целесообразна для дворца или особняка, но она бессмысленна для доходного дома. В подобных домах не было главного, что следовало бы выделить положением в центре, декором или другими традиционными средствами, и не было второстепенного, подчиняющегося этому главному, а самое основное – отсутствовало единство внутренней структуры. В 1830-е гг. в строительстве доходных домов появляются новые тенденции: попытка соотнести экономичность и практичность. Фасады домов начали декорировать предельно просто, и это однообразие улиц вызвало недовольство жителей [4]. Попытка архитекторов оживить фасады доходных домов привела к появлению нового архитектурного стиля на волне романтизма, нового идейно-художественного движения, затронувшего все области духовной жизни общества. Этот стиль получил название историзма, или ретроспективного стилизаторства. При возведении зданий архитекторы стали использовать элементы известных в прошлом архитектурных стилей – готики, ренессанса, барокко и др. Современники же называли такие постройки «в готическом вкусе», «в египетском вкусе», «в русском вкусе» и т. д., или на французский манер прибавляя перед названием «*a la*». В одних случаях такие постройки чуть ли не полностью повторяли исторические прототипы, в других же сходство ограничивалось лишь отдельными декоративными мотивами в духе того или иного стиля, а общая объемно-пространственная композиция здания была уже совершенно иной, отвечающей требованиям своего времени. В истории архитектуры такие виды стилей получали названия с приставкой «нео-» (неоготика, необарокко, неогрек и т. п.) или, при негативном к ним отношении, – «псевдо-» (псевдоготика и др.). Отдельные здания ретроспективного стилизаторства появляются уже в 1810–1820-х гг. В 1830-х и особенно на рубеже 1840-х гг. их число быстро увеличивается. Расширяется диапазон стилевых прототипов, в том числе и для доходных домов.

*Египетский стиль* представлен единственным в Санкт-Петербурге доходным домом на Захарьевской ул., 23 (рис. 2).

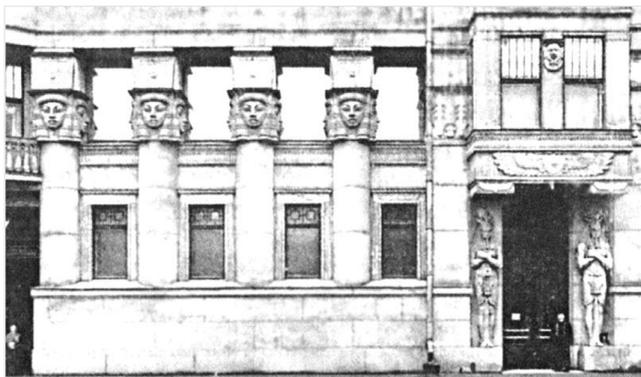


Рис. 2. Доходный дом, Захарьевская ул., 23

Построен он был по проекту архитектора М. А. Сонгайло в 1911–1913 гг. для Л. И. Нежинской. Входы на парадные лестницы охраняют огромные статуи египетских богов, держащих в скрещенных на груди руках ключ жизни – анх. Головы их венчают солнечные диски со священными кобрами – уреями. Над дверями – священные жуки-скарабеи, символизирующие солнце и защиту. На стенах лестниц многочисленные изображения лотоса – символа плодородия и царской власти. Два нижних этажа украшены мощными колоннами, каждую из них венчают по три лика богини неба Хаттор, верхние – барельефами сцен из загробной жизни. Эркеры украшены медальонами с профилем фараона в обрамлении уреев.

*Неогрек. Помпейский стиль.* В России в 1830-е гг. во время упадка классицизма становятся модными неогреческий (неогрек) и помпейский стили, основанные на «цитировании» декоративных мотивов античной архитектуры – как греческих, так и римско-помпейских [2]. При оформлении фасадов доходных домов использовались лишь элементы: кариатиды в «греческом вкусе», колоннады, орнамент меандр. Такие элементы можно увидеть на фасаде

## 1. Особенности архитектурных и инженерных решений зданий...

здания по Каменноостровскому пр., 65, построенного по проекту В. А. Щуко в 1908–1910 гг. Мощные колонны с коринфскими капителями, вытянутые на высоту 4 этажей, связаны между собой гирляндами. Эркеры богато декорированы скульптурой; сложные скульптурные кронштейны у входов (рис. 3).



Рис. 3. Доходный дом, Каменноостровский пр., 65

*Мавританский стиль.* Для этого стиля характерно «цитирование» архитектурных форм и элементов декора древних строений арабского Востока (дворцов, мечетей, медресе и т. п.). Первым в России доходным домом, спроектированным в мавританском стиле (рис. 4), стал дом Мурузи на углу Литейного пр., 24, и Пантелеймоновской ул. (ныне ул. Пестеля).



Рис. 4. Доходный дом князя А. Д. Мурузи, Литейный пр., 24; арх. А. К. Серебряков; слева – фото 1879 г.; справа – современное фото

### 1.1. Архитектурные решения доходных домов Санкт-Петербурга

В 1874–1877 гг. по заказу князя Александра Дмитриевича Мурузи архитектор А. К. Серебряков при участии П. И. Шестова и Н. В. Султанова построил роскошный пятиэтажный доходный дом, выходящий на три улицы и площадь. Необычный для Петербурга мавританский стиль подчеркивал восточное происхождение князя, потомка древнего византийского рода, чей дед был господарем Молдавии и Валахии, а отец – известным турецким дипломатом. Дом поразил современников богато украшенными фасадами, пятью парадными лестницами, роскошью внутренней отделки, удобством квартир, имевших водопровод и редкое по тем временам водяное отопление. Но особенно потрясала воображение современников 26-комнатная квартира самого владельца дома, отделанная с поистине восточной роскошью, в ее парадном зале среди мраморных колонн бил даже фонтан [2]. Фасады дома в мавританском стиле оформлены многочисленными эркерами, балконами и нишами, украшены тонкими терракотовыми колонками, подковообразными арками, арабесками и стилизованными надписями. Объемная пластика отдельных деталей сочетается с плоскими решениями фасадов.

Стиль *неоготики* появился в России в 1820–1830-х гг. на волне интереса к истории. На рис. 5 представлены фотографии доходного дома (известного как доходный дом К. И. Розенштейна или «Дом с башнями») по адресу: Каменноостровский пр., 35, арх. А. Е. Белогруда (по некоторым источникам, также и владельца дома арх. К. И. Розенштейна).

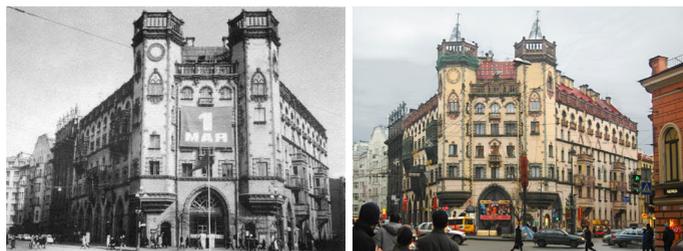


Рис. 5. Доходный дом, Каменноостровский пр., 35; слева – фото советского периода; справа – современное фото

А. Е. Белогруд увлекался средневековой архитектурой и использовал здесь мотивы средневековых английских замков, поэтому бельведеры по углам здания, вынесенные на площадь, он превратил в настоящие шестигранные башни-эркеры. Детали здания подчеркнуты коричневым цветом, в то время как стены дома окрашены в желто-серый. В украшении дома использованы элементы средневековой готической архитектуры. В стене одной из башен архитектор разместил декоративный циферблат со знаками зодиака. Со стороны улицы Льва Толстого окна третьего и пятого этажей сдвинуты по отношению к другим этажам.

Яркими признаками готической архитектуры интересен доходный дом В. А. Шрётера на наб. р. Мойки, 114 (рис. 6), который вместе с особняком архитектора создает неповторимый ансамбль. Семь «готических» треугольных эркеров на фасаде доходного дома определяют особенность такого здания.

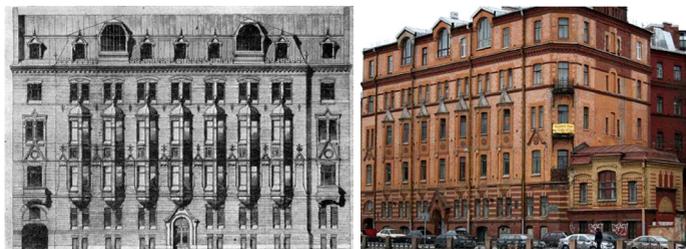


Рис. 6. Доходный дом, наб. р. Мойки, 114;  
слева – фото 1890 г.; справа – современное фото

*Неоренессанс.* Наиболее часто архитекторы доходных домов второй половины XIX в. обращались как к прототипу к итальянскому ренессансу XV–XVI вв. Это объясняется тем, что в эпоху Возрождения художественное оформление фасадов отличалось большим разнообразием при простоте и доступности выразительных деталей. Внутри данного стиля выделяют несколько разновидностей. В ордерном неоренессансе использовались такие элементы ордера, как колонны, полуколонны и пилястры, охватывающие один этаж. Для доходных домов поэтажная система ордеров пре-

## 1.1. Архитектурные решения доходных домов Санкт-Петербурга

дельно упрощалась. Это хорошо просматривается, например, на фасаде доходного дома по Большому пр. П. С., 31 (рис. 7), построенного в 1908–1910 гг. по проекту архитектора П. Н. Батуева.



Рис. 7. Доходный дом (правая часть), Большой пр. П. С., 31 (слева); доходный дом (К. Вельша), наб. канала Грибоедова, 17 (справа)

Подобное же оформление фасада выполнено на доме № 17 по наб. канала Грибоедова (см. рис. 7). Оба упомянутых доходных дома возвели в середине XIX в. по проекту арх. Н. П. Гребенки.

*Ордерный неоренессанс.* Архитектор А. Е. Белогруд оформляет шестиэтажный доходный дом на Большом пр. П. С., 77, полуколоннами большого ордера и декоративным аттиком со статуями над каждой колонной (рис. 8).

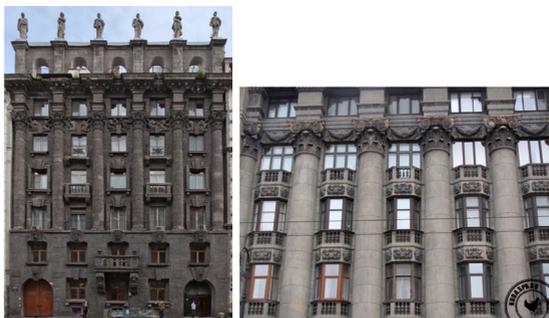


Рис. 8. Доходный дом, Большой пр. П. С., 77 (слева); доходный дом, Каменноостровский пр., 65 (справа)

Также шестиэтажный доходный дом на Каменноостровском пр., 65, арх. В. А. Шуко (см. рис. 8) украсил мощными трехчетвертными колоннами композитного ордера, установив их на высоком цокольном этаже. Оба доходных дома, построенные в 1910-х гг., повторяют палладианские фасады дворцов в Виченце, в частности – незавершенные лоджии дель Капитанио.

*Безордерный неоренессанс.* Наиболее часто петербургские архитекторы обращались к безордерному ренессансу, где использовались лишь рустовка и ренессансные наличники. В отличие от итальянских палаццо, облицованных внушительными каменными блоками, петербургский руст выполнялся из обычной штукатурки. Безордерный вариант неоренессанса хорошо иллюстрируют фасады доходных домов (рис. 9), возведенных в 1840-е гг. на Исаакиевской пл., 7, и на Б. Конюшенной ул., 5, арх. Д. Б. Гейденрейхом.



Рис. 9. Доходные дома, Исаакиевская пл., 7 (слева);  
Б. Конюшенная ул., 5 (справа)

Интересен огромный, выходящий на три улицы – Фурштатскую, 27, Воскресенский пр. (ныне – пр. Чернышевского), 17, и Кировную, 26, – доходный дом миллионера С. Т. Овсянникова (рис. 10).

Построенный в 1860-е гг., он представляет довольно чистый образец применения романо-ренессансного стиля: с мощными арками, объединяющими третий и четвертый этажи, с прорезанным машикулями карнизом и крупной рустовкой-шубой.



Рис. 10. Доходный дом С. Т. Овсянникова, Фурштатская ул., 27

*Флорентийский неоренессанс.* Доходный дом (Фурштатская, 10) с использованием руста в качестве основного композиционного материала построен в 1865 г. по проекту арх. К. К. Кольмана (рис. 11).



Рис. 11. Доходные дома, Фурштатская ул., 10 (слева);  
и ул. Чайковского, 55 (справа)

Также с глубокой рустовкой оформлен доходный дом арх. А. К. Кольмана (см. рис. 11), построенный в 1859–1860 гг. по проекту арх. А. К. Кольмана и Е. И. Ферри де Пиньи.

Известно, что названия улиц и номера домов появились только в период генерал-губернаторства Ф. Ф. Трепова (1873–1878 гг.), поэтому в истории сохранились названия доходных домов по имени владельцев.

*Французский неоренессанс.* В этом стиле окончательно оформлен в 1893 г. арх. Л. Н. Бенуа (рис. 12) многократно перестраиваемый с 1740-х гг. доходный дом № 27/29 по Моховой ул. [5].



Рис. 12. Доходные дома, Моховая ул., 27/29 (слева);  
и Фурштатская ул., 9 (справа)

Отличают дом мансардные высокие кровли и угловые русты на фоне кирпичной кладки. Доходный дом евангелическо-лютеранской церкви Св. Анны, построенный по проекту арх. А. Ф. Бубыря и Л. А. Ильина в 1903 г., также характеризуется элементами стиля французского неоренессанса.

*Русский стиль.* Русский стиль получил распространение в архитектуре в царствование императора Александра III – яркого приверженца всего русского. В отделке фасадов использовались декоративные приемы, заимствованные в средневековом московском зодчестве XVI–XVII вв. и в русском народном прикладном искусстве: из орнаментов оформления старинных книг и узоров крестьянских вышивок. Кокошники, шатровые кровли, бегунцы, полотенца, арочки, колонки с «дыньками», полихромные поливные изразцы и разного рода лепные детали и петушки украшают фасады. Считается, что первым доходным домом, в чьей отделке использовали мотивы русского стиля (или, как его называли современники, «петушиного» стиля), был дом Н. Н. Зайцевой на Фурштатской ул., 20, построенный арх. И. С. Богомолковым в 1875–1876 гг. и перестроенный в 1879–1883 гг. арх. В. Кене.

Доходный дом З. М. и А. А. Зайцевых на Фурштатской ул., 11, был построен в 1880–1881 гг. в Санкт-Петербурге по проекту арх. Н. Ф. Беккера (рис. 13).

## 1.1. Архитектурные решения доходных домов Санкт-Петербурга

---



Рис. 13. Доходные дома Н. Н. Зайцевой, Фуруштатская ул., 20 (слева);  
З. М. и А. А. Зайцевых, Фуруштатская ул., 11 (справа)

Необычный фасад здания выполнен в неорусском, так называемом петушином стиле, объем подчеркнут внушительными эркерами-башнями. На фоне кирпичной кладки штукатуркой выложены косы, картуш с монограммой «З», зубчики, растительные орнаменты, характерные для русского декоративного искусства. Ровный красно-коричневый тон стены расцвечен майоликовыми зеленоватыми плитками.

Восторженную оценку В. В. Стасов дал тяжеловесному доходному дому арх. Н. П. Басина [6], построенному около Александринского театра в 1878–1881 гг. (пл. Островского, 5) как воплощению «национального направления», которое он настойчиво поддерживал (рис. 14).



Рис. 14. Доходные дома арх. Н. П. Басина, пл. Островского, 5 (слева);  
и арх. Н. Н. Никонова, Колокольная ул., 11 (справа)

Ярким представителем этого направления является арх. Н. Н. Никонов. На рис. 14 приведено современное фото «пряничного» домика на Колокольной ул., перестроенного в начале XX в.

*Неопетровский стиль.* Как видно из самого названия стиля, идеалом для подражания было выбрано петровское барокко, для него характерна всемерная экономия в оформлении, обусловленная личными пристрастиями Петра I и затянувшейся Северной войной. Расходы на чрезмерную декоративность в архитектурном убранстве не поощрялись, что привело к относительной простоте построек петровского времени. Здания украшались пилястрами или лопатками, но не колоннами. Окна имели более дешевую мелкую расстекловку. Нарядность зданию придавала окраска оштукатуренных фасадов в два контрастных цвета, обычно – в терракотовый с белым. Окна оформлялись простыми наличниками. Углы строения выделялись декоративной рустовкой. Здания венчали высокие кровли с переломом на манер голландских. Первый доходный дом Петербурга в неопетровском стиле построен по проекту арх. А. И. Дитриха в 1903–1905 гг. на углу Потемкинской ул., 9, и Фурштатской ул., 62, для врача С. С. Боткина, старшего сына известного доктора, профессора С. П. Боткина (рис. 15).



Рис. 15. Доходный дом С. С. Боткина, Фурштатская ул., 62

*Необарокко.* В основе этого стиля лежит русское барокко середины XVIII в., иногда называемое «елизаветинское» или «растрел-

### 1.1. Архитектурные решения доходных домов Санкт-Петербурга

лиевское». Со времен Петра I сохранилась окраска оштукатуренных фасадов в два контрастных цвета, но вместо терракотового в контрасте с белым предпочтение отдавалось бирюзовому, голубому, зеленому – тоже с белым. Главное отличие этого стиля – наличие колонн, обилие скульптурных и лепных деталей фасадов, сложная форма кровли, обильно украшенная балюстрадами с фигурными балясинами, вычурной формы фронтонами, даже дымовым трубам придавали вид нарядных ваз (рис. 16 и 17).

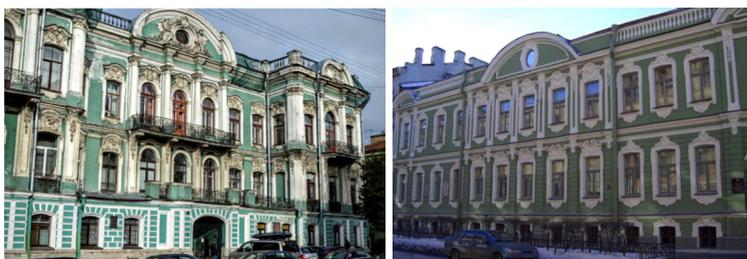


Рис. 16. Доходный дом Е. М. Бутурлиной, ул. Чайковского, 10 (слева); доходный дом, Моховая ул., 3 (справа)

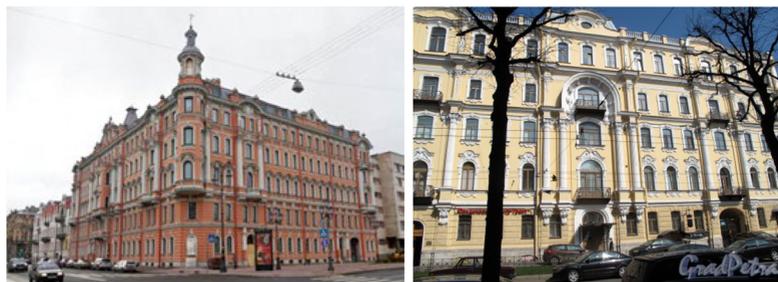


Рис. 17. Доходные дома К. И. Шрейбера, Захарьевская ул., 41 (слева); и О. В. Серебряковой, ул. Чайковского, 24 (справа)

Представителями этого стиля считаются построенные, начиная с 1857 до 1915 г., доходные дома: Е. М. Бутурлиной на ул. Чайковского (бывшая Сергиевская ул.), 10, по проекту арх. Г. А. Боссе; полковника Устинова на Моховой ул., 3, по проекту арх. В. А. Шретера; до-

ходные дома по проектам арх. Б. И. Гиршовича – О. В. Серебряковой на ул. Чайковского, 24, и Ю. Б. Бака на Кировной ул., 24; по проекту арх. П. И. Гилева – для купцов Черепенниковых на Фурштатской ул., 2/12; К. И. Шрейбера на углу Захарьевской ул., 41, и Потемкинской ул., 3, по проекту арх. В. И. ван дер Гюхта.

*Стиль Людовика XVI* характерен для оформления доходных домов начиная с 1870-х гг. Особенностью этого стиля являются характерные для французской архитектуры 1750–1770-х гг.: средние, боковые и угловые ризалиты, полуротонды, пастельная окраска зданий, изящная, тонкая лепнина. Наибольшую популярность в оформлении доходных домов второй половины XIX в. приобрел так называемый безордерный вариант стиля Людовика XVI [7], поскольку архитекторы, учитывая современные тенденции к увеличению полезных объемов зданий, стремились к уменьшению конструктивной массы при одновременном снижении стоимости.

Используемые для украшения фасадов декоративные детали (наличники, карнизы, маскароны, гирлянды и др.) начали изготавливать в стандартных формах. Архитектор Р. А. Гедике, работавший в стиле Людовика XVI, создал проекты доходных домов А. С. Воронина на Б. Морской ул., 26, и Г. А. Черткова на Миллионной ул., 23 (рис. 18), украшая их фасады разнообразными гирляндами, рустом и т. д.



Рис. 18. Доходные дома, Большая Морская ул., 26 (слева);  
и Г. А. Черткова, Миллионная ул., 23 (справа)

## 1.1. Архитектурные решения доходных домов Санкт-Петербурга

*Эклектика.* В середине XIX в., когда началось массовое строительство доходных домов, архитекторы начали заимствовать из предыдущих стилей отдельные элементы. Новый стиль, названный эклектикой (*греч.* – *εκλεκτικισμός*), характеризовался применением для современной архитектуры приемов различных исторических стилей. Учитывая невозможность строгого контроля за внешним обликом доходных домов вследствие их массового строительства, архитектура доходных домов стала формироваться под влиянием экономических категорий.

Фасад дома становился рекламой своего владельца, например ярким представителем этого направления считается нарядный доходный дом А. Д. Чавчавадзе (ул. Чайковского, 63) с обилием лепнины на фасаде (рис. 19), построенный в 1880 г. по проекту арх. В. Ф. фон Геккера.



Рис. 19. Доходные дома, Сергиевская ул. (ныне ул. Чайковского), 63 (слева); и Фурштатская ул., 25 (справа)

Центр здания выделяется колоннами и фигурным фронтоном. По проекту того же архитектора в стиле эклектики на Фурштатской ул., 25 (см. рис. 19), построен четырехэтажный доходный дом В. Ф. Духовской. Фасад украшен коринфскими пилястрами с парными масками, эффектным рустом, элементами барокко.

*Кирпичный стиль.* В последней четверти XIX в. в архитектуре появилась тенденция, при которой поверхность кирпичной клад-

ки не штукатурилась, что было более рациональным в связи с особенностями петербургского климата, а для декорирования фасадов стали использоваться карнизы и наличники из натурального камня; для облицовки – цветная керамическая плитка, живописные изразцы. Доходный дом В. Ф. Штрауса (рис. 20) был построен в 1873 г. по проекту арх. В. А. Шретера и И. С. Китнера и по красоте оформления фасада не уступает оштукатуренным фасадам.

Доходный дом А. И. Ниссена (рис. 20) на наб. р. Фонтанки, 183, а также доходные дома Н. А. Мейера и Г. Ф. Вучиховского, В. А. Шретера на Вознесенском пр. и на набережной р. Мойки, 112, построенные в кирпичном стиле по проектам В. А. Шретера.



Рис. 20. Доходные дома, 2-я линия В. О., 9 (слева);  
и наб. р. Фонтанки, 183 (справа)

По проектам арх. К. Я. Маевского построен доходный дом на углу Московского пр. и набережной р. Фонтанки, 16/110; арх. А. И. Аккермана – на канале Грибоедова, 132; арх. И. И. Иванова – на Английском пр., 39.

*Северный модерн.* В конце XIX – начале XX вв. в архитектуре сформировался стиль модерн. Для Санкт-Петербурга характерен специфический вид этого стиля – северный модерн, отличающийся строгостью архитектурного облика и использованием для облицовки гранита. Хотя некоторые архитекторы, работавшие в этом стиле, все же использовали для отделки фасадов штукатурку: украшали фасады растительными орнаментами и изображениями

### 1.1. Архитектурные решения доходных домов Санкт-Петербурга

---

ями северного животного мира. Архитекторы проектировали также и интерьер помещений.

Одними из первых представителей этого стиля можно назвать доходные дома на Каменноостровском пр., 1–3, построенные по проекту Ф. И. Лидваля (рис. 21), только что закончившего Императорскую академию художеств.



Рис. 21. Доходные дома, Каменноостровский пр., 1–3

В течение 20 лет по проектам Ф. И. Лидваля построено более 30 зданий и сооружений. Для доходных домов Ф. И. Лидваля характерна благоустроенность квартир, по его проектам построены первые в Санкт-Петербурге однокомнатные квартиры-студии в доходных домах коридорного типа.

Нарядные оштукатуренные доходные дома в стиле северного модерна построены по проектам В. В. Шауба для Э. Э. и Г. Э. Арнольдов на Васильевском острове (рис. 22).



Рис. 22. Доходные дома, 18-я линия В. О., 21 и 23

Краткая характеристика архитектурных стилей доходных домов Санкт-Петербурга, основанная на многочисленных публикациях [1–7], показывает уникальность дореволюционного облика города и одновременно многочисленные проблемы, связанные с устройством современных инженерных коммуникаций в таких зданиях.

## 1.2. История кирпичного производства в России

Во время правления Петра I в Петербурге активно развивалось кирпичное производство [8–13]. Заводы по производству кирпича существовали уже в первые годы строительства города. К 1711 г. объем производства кирпича близ Санкт-Петербурга составлял от 8 до 11 млн шт. в год. Потребность в кирпиче росла, издавались указы о минимальных объемах производства, невыполнение которых каралось штрафами. При этом по причине дефицита кирпичные материалы для строительства города поставлялись и из других регионов России.

В Россию из Византии вслед за крещением пришла технология производства плинфы (в переводе с греческого «кирпич») – широкого плоского обожженного кирпича квадратной формы со стороной 32–36 см и толщиной 3,5–5 см [14], изготавливаемого из глины, соломы, песка и других минеральных добавок. Своеобразную форму в виде глиняных бутылок имел кирпич на Древнем Востоке. Изготовление изделий из обожженной глины насчитывает около 24 тыс. лет. Поскольку плинфа была основным строительным материалом для монументальных памятников Древней Руси, то первые мастерские по производству таких кирпичей создавались при монастырях [15]. При кладке использовался густой известковый раствор с добавлением толченого кирпича толщиной, равной толщине плинфы. Византийская кладка могла быть плинфовой или с чередующимися рядами плинфы и тесаного камня или мрамора [16].

По данным некоторых исследователей, со второй половины XIII в. [17] параллельно с плинфовой кладкой стала использоваться кладка из брускового, или «литовского», кирпича с известко-

во-песчаным раствором. И к XV в. брусковый кирпич практически вытеснил плинфу. К этому периоду относится начало расцвета «кирпичного дела» в России [18] – со строительства фабрики по производству обожженного «Аристотелева» кирпича в Москве для возведения Московского Кремля. Из такого «глиняного камня» размерами 289×189×67 мм также были построены Новгородский и Казанский кремль, собор Василия Блаженного.

В 1713 г. по указу Петра I возле Санкт-Петербурга были построены новые кирпичные заводы. Каждому из их владельцев император дал задание произвести как можно больше кирпичей. Мастеров для работы собирали со всей России. Также по указу запрещалось строить каменные здания в других городах страны под угрозой отъема имущества и отправки в ссылку. Этот пункт был написан специально для того, чтобы оставить без работы каменщиков и прочих мастеров в расчете на то, что те сами придут застраивать Петербург. Всякий въезжавший в город должен был «заплатить» за проезд кирпичом, который он привез с собой. Есть версия, что Кирпичный переулок так назван потому, что в месте его расположения был склад кирпичей, взятых за въезд в город.

В 1717 г. в Петербурге для определения качества кирпича было введено понятие сортности, которое определялось степенью его обжига. Из трех сортов – красного, желтого и белого – наилучшим считался кирпич красный. Красный кирпич лилового оттенка давал металлический звон, отличался однородным составом без пустот и раковин. Кирпич желто-красного оттенка (некоторые исследователи называют его алым) был недожженным, более пористым и поэтому обычно использовался для внутренних работ. Кирпич темно-красного цвета, содержащий много оксида железа, имел более высокую твердость, плохо обрабатывался и скреплялся раствором. Но такой кирпич имел повышенную водостойкость, вследствие чего его применяли в кладке фундаментов и подвалов [18].

Первые попытки повысить производительность труда при производстве кирпича были предприняты русскими инженерами еще в XVIII в., даже ранее, чем в странах Западной Европы [1, 18].

Однако только в середине XIX в. производство было механизировано: для формовки стали использовать ленточный пресс, для обжига – кольцевую печь. На рис. 23 приведены общий вид кольцевой Гофмановской печи непрерывного действия и отверстие для засыпки опилок [19].



Рис. 23. Общий вид Гофмановской печи (слева) и отверстие для загрузки опилок (справа)

Печной канал представлял собой непрерывное кольцо, в котором размещено 18 печных камер для загрузки кирпича. В качестве топлива использовались дрова или уголь. В верхней части этих камер на уровне второго этажа размещалось около 500 круглых отверстий, в которые вручную засыпались опилки. Обжиг кирпича происходил при температуре 900–1000 °С. Тушили печь только один раз в год, когда заканчивалось сырье.

В это же время в производстве появились глинообрабатывающие машины, такие как бегуны, вяльцы, глиномялки.

В 1811 г. Инженерный департамент Военного министерства составил «Урочный реестр по части гражданской архитектуры», в котором указывалось, что кирпич должен иметь размеры 26,6×13,3×6,7 см [19].

В результате внедрения новых технологий производства кирпича к середине XIX в. изменились и его размеры. Русский арх. Иван Иванович Свиязев в 1833 г. писал о размерах кирпича: «Определенная Правительством мера кирпича есть следующая:

длиною 6 (26,5 см), шириною 3 (13,3 см), толщиной 1 1/2 (6,7 см) вершка» [20].

В «Правилах для единообразной и прочной выделки кирпича, долженствующего употребляться как в Санкт-Петербурге, так и в других местах России на казенных и частных заводах» от 1847 г. [21] говорилось следующее: «Кирпич № 1 (красный Санкт-Петербургских заводов) по обжигу должен быть длиною 6, шириною в 3 и толщиной в 1,5 вершка». И еще один документ самого конца XIX в. [21] называется «Кондиции на поставку кирпича для подземных сооружений по устройству первой московской канализации»: «Прямой кирпич должен иметь размеры: длину 10, ширину 5, толщину два и 1/2». На рис. 24 приведены данные по размеру кирпича с начала изготовления до конца XIX в.

	1475	1500	1525	1532	1595	1599	1700	1735	1761	1811	1847	1890
Длина, см	28,9	30,0	32,0	30,0	31,0	31,0	28,0	31,1	30,0	26,6	26,7	25,4
Ширина, см	11,1	14,0	16,0	14,0	15,0	13,0	14,0	15,6	15,0	13,3	13,3	12,7
Высота, см	6,7	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	7,0	7,8	8,0	6,7	6,7	6,4

Рис. 24. Эволюция размеров кирпича с 1475 по 1890 г.

Начиная с середины XIX в. [18] производители стали ставить на кирпичи клеймо, по которому можно было идентифицировать их принадлежность конкретному заводу. Деревянные формы для кирпичей оббивались изнутри железом, ко дну их крепилось клеймо в виде рисунка, буквы, как правило, – инициалы владельца завода или клеймо казенных (государственных) кирпичных заводов – двуглавый орел. При обжиге клеймо закреплялось. В это время размер кирпича был определен и составил 280×140×70 мм, хотя фактически получать кирпичи указанного размера заводам почти до конца XIX в. не удавалось.

Во второй половине XIX в. удалось добиться выпуска единообразного сырцового кирпича: появился свод правил для казенных заводов, регламентирующий размер не сырого кирпича, а уже обожженного изделия. В окрестностях Петербурга строились

казенные кирпичные заводы (государственные), а также заводы, принадлежащие Адмиралтейству и Александро-Невской лавре. Общее количество выпускаемых кирпичей в начале XVIII в. – около 15 млн шт. в год. К 1854 г. в стране было 954 кирпичных завода, которые выпускали 126 млн шт. в год [11].

«Казенный» кирпич имел размер  $267 \times 133 \times 67$  мм, и фабриканты ставили на него свое клеймо – в виде названия завода либо инициалов его владельца [9, 11, 22, 23]. Образцы кирпича с клеймами приведены на рис. 25.



Рис. 25. Кирпич из музея СПбГАСУ

Как видно, форма кирпича была далека от идеальной, поэтому в процессе кладки для выравнивания поверхности каменщики использовали различную толщину швов между кирпичными рядами. Качество этой тяжелой ручной работы, естественно, зависело от квалификации работника. Размеры кирпича и толщина швов стабилизировались уже в XX в. Наилучшим образом перевязке швов в кирпичной кладке (с учетом толщины швов) соответствует кирпич с размерами  $250 \times 120 \times 65$  мм.

Сооружение кирпичной кладки производилось в XVIII и первой половине XIX вв. на песчано-известковом растворе с использованием гашеной извести [20]. Во второй половине XIX в. при возведении стен стал систематически использоваться портландце-

мент. Толщина швов составляла 10–20 мм. Например, для обеспечения эстетичной перевязки швов по вертикали в то время делали предварительную кладку насухо, без применения раствора, – так каменщик «примерялся» [24]. Кладка выполнялась каменщиком без привлечения подсобных рабочих: мастер одновременно правой рукой набрасывал на стену раствор, а левой – брал кирпич с подмостков. Несмотря на совершенствование технологии возведения кирпичных зданий, многие практические приемы используются и в современном строительстве.

### **1.3. Строительные и объемно-планировочные особенности доходных домов**

Как было уже отмечено, в Петербурге 30–40-е гг. XIX в. вернулось массовое строительство так называемых доходных домов. Это привело к тому, что в XIX в. доля доходных домов стала составлять примерно 80 % от построек города. Постепенно росло количество домов, построенных с использованием технологии каменного и кирпичного домостроения.

Строить дома «сплошной фасадой» распорядился еще Петр I [25, 26]. Недостаток и дороговизна земли в центре города привели к строительству зданий, тесно примыкающих друг к другу или практически имеющих общий фасад. В первую очередь это относится к доходным домам. Для получения максимальной прибыли домовладельцы застраивали свои участки как можно плотнее, надстраивали до 5–6 этажей сначала уличные фасады, позже – хозяйственные постройки, находящиеся во дворе, а потом и его перегородивали узкими домами-пеналами. В результате появлялись дворы-колодцы с причудливыми арками и воротами. Часто помещения на первых этажах вообще не имели окон и предназначались для хозяйственных нужд.

На рис. 26 представлен фрагмент плана типового этажа доходного дома арх. А. Ф. Бубыря на Стремянной ул. Квартира имела два входа: парадный и черный для хозяйственных нужд. Как и мно-

гие квартиры своего времени, она делилась на две половины – хозяйскую и хозяйственную. Обращает на себя внимание размещение кабинета непосредственно с входом из прихожей. Как описано в работе [27], основными арендаторами квартир в доходных домах были государственные и коммерческие служащие, которые могли совмещать основную работу с частной деятельностью. Поэтому на многих планах квартир начала XX в. можно видеть изолированные комнаты рядом с прихожей для приема посетителей.

Из прихожей дверь вела в гостиную и столовую, а потом через коридор в спальни, санитарные и хозяйственные помещения (рис. 26, а), при этом гостиная или столовая были проходными. В другом варианте (рис. 26, б) из прихожей дверь вела в длинный коридор, из которого был вход в хозяйские комнаты. Кухня располагалась в конце квартиры у черной лестницы.

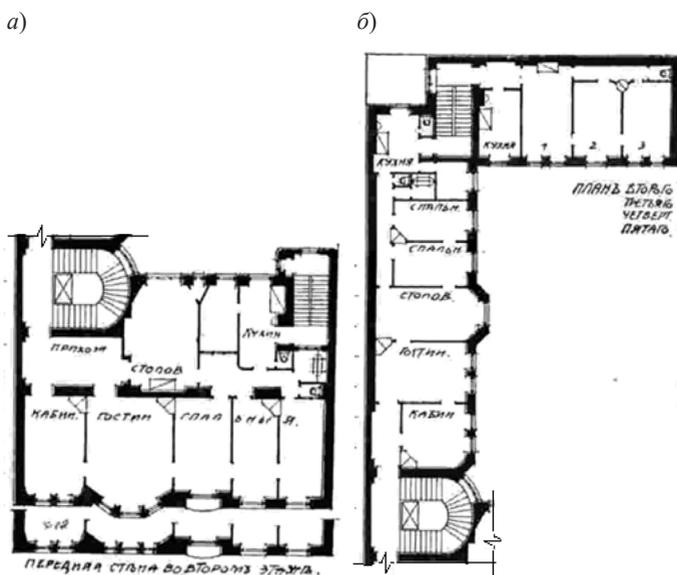


Рис. 26. Фрагменты плана доходного дома А. Ф. Бубыря, Стремянная ул.

По черной лестнице можно было выйти во двор, где располагались различные хозяйственные постройки.

Комнат было от двух до шести, без учета кухни и комнат для прислуги; площадь комнат – от 15 до 30 м<sup>2</sup>. Обычная высота потолков достигала 3,5–4,2 м, что почти совпадало с гигиеническими нормами, принятыми российскими гигиенистами во главе с профессором Ф. Ф. Эрисманом [2, 28]. В подвалах и мансардах – высота от 4 аршин (2,8 м). Самыми низкими были потолки в антресольных помещениях – от 3 аршин (2,1 м). Самыми высокими – в парадных помещениях барских квартир – до 7,5 аршина (5,3 м).

Самым распространенным вариантом планировки квартир для бедных жильцов в доходных домах была так называемая коридорная система – иногда до 38 комнат, одной кухней и всего одной уборной. Были и небольшие квартиры с проходными темными кухнями с дровяной плитой [23].

Во флигелях, размещенных во внутренних дворах, где размещались сравнительно небольшие и более дешевые квартиры, ограничивались устройством одной лестницы. Кухня, санузел, кладовые в таких квартирах располагались вблизи входов.

Анализ, выполненный в работе [29], показывает особенности строительства доходных домов. Толщина стен составляла от 2,5 кирпича; в многоэтажных зданиях – принималась по этажам, возрастая сверху-вниз с шагом в полкирпича каждые два этажа. В [1] собраны данные по размерам кирпичей производства различных заводов, на основании которых получены данные о толщине кладки для различных случаев (табл. 1).

Прочность кирпича зависит от применяемой технологии производства и совершенства ее развития. Так, по результатам проведенных испытаний кирпичам более поздних лет выпуска, в производстве которых использовались машинные технологии, соответствует большая прочность. Эта продукция может классифицироваться как соответствующая маркам по ГОСТ 530–2012 [30].

**Толщина кладки при разной толщине раствора  
и размере кирпича (мм)**

Толщина кладки	Размер кирпича 245×120×65		Размер кирпича 255×120×65	
	Толщина кладки, при толщине раствора, мм			
	10	20	10	20
2,5 кирпича	630	650	675	695
3 кирпича	760	790	820	850
3,5 кирпича	885	915	945	975

Анализ развития конструкций зданий жилой исторической застройки в Санкт-Петербурге, выполненный в работе [31], позволяет не только классифицировать строительные конструкции, но и выявить их особенности, благодаря которым многие здания уже более 150 лет определяют уникальность архитектурного облика города. Отмечено, что толщина стены определялась назначением здания, а также условиями устойчивости, экономии и сохранения тепла. В работе говорится, что при строительстве доходных домов в Санкт-Петербурге использовались предложенные французским архитектором Жаном-Батистом Ронделе (1743–1829) эмпирические правила расчета кирпичных стен, по которым толщина стен двух верхних этажей принималась по теплотехническим соображениям, а в каждом двух нижерасположенных этажах толщина стены увеличивалась на полкирпича. При этом стену возводили уступами с внутренней стороны, что целесообразно с точки зрения материальных затрат и повышает устойчивость самой стены. Уступы не выполнялись только в лестничных стенах для сохранения так называемого ядра жесткости здания. При наличии сводов стены имели размеры, соответствующие опорам сводов. Для увеличения сопротивления к наружной стороне приделывали контрфорсы или делали уступы. Для определения толщины стен,

подверженных горизонтальному распору, пользовались формулой Ронделе для капитальных стен [31]:

$$\delta = \frac{2L + H}{48}, \quad (1)$$

где  $L$  – расстояние между двумя продольными капитальными стенами;  $H$  – высота строения от цоколя до карниза.

#### **1.4. Системы обеспечения микроклимата доходных домов до революции**

Микроклимат помещения формируется следующими параметрами: температура воздуха, радиационная температура (температура ограждающих конструкций), относительная влажность воздуха, подвижность воздуха. Сочетание этих параметров определяет работу системы терморегуляции человека и общий уровень комфорта в помещении [43].

Основными причинами появления теплового дискомфорта человека в помещении являются: холодные и горячие поверхности, сквозняк, градиент температур в плоскостях объема помещения, высокая асимметрия теплового излучения [29].

В России, как северной холодной стране, всегда было актуален обогрев помещений. Основным видом отопления длительное время было печное [32, 33]. Каменка, курная печь, печь-полубелок, русская печь – основные типы отопительных печей в допетровской России. Для дворцов Санкт-Петербурга Петр I привез из Голландии чертежи голландских печей и образцы изразцов. В мастерских при монастырях, в гончарных мастерских Москвы и других русских городов и раньше изготавливались многокрасочные поливные художественные (муравленные) изразцы для облицовки печей, однако высшие чиновники и купечество предпочитали голландские печи с горизонтально-последовательными дымоходами и голландскими же изразцами. Постепенно появилось фабрично-заводское

производство отечественных, так называемых шведских, печей, поливных изразцов (частная фабрика купца А. Гребенщикова) и металлических изделий для печей (Тульский завод).

Во избежание пожаров в Петербурге и Москве Петр I запретил строить черные избы и печи с деревянными трубами. Начали строить «среднезальные» кирпичные печи на фундаменте, был организован специальный штат трубочистов.

Начиная с 1736 г. в Петербурге получили распространение печи с горизонтальными дымооборотами по типу *голландских печей*, в которых дымообороты отделены друг от друга для увеличения наружной теплоотдающей поверхности печи. Такая схема печи обеспечивала быстрый нагрев, но и быстрое охлаждение. Учитывая особенности русского климата, для обеспечения более длительной эффективной теплоотдачи русские мастера модернизировали голландские печи и создали печь «колодцами» с вертикальными последовательными дымоходами (рис. 27). То есть в чистом виде голландские печи никогда не использовались в нашей стране.

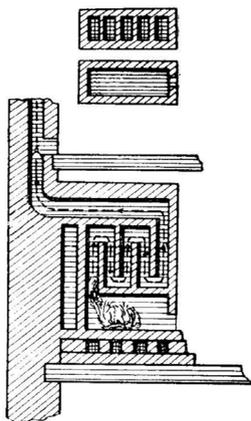


Рис. 27. Печь с вертикальными дымооборотами (1742 г.)

Известны неудачные попытки голландских мастеров повысить теплопроизводительность своих печей за счет увеличения

#### 1.4. Системы обеспечения микроклимата доходных домов до революции

толщины стенок и количества дымооборотов. Кроме того, название «голландская» использовалось и для любых прямоугольных в плане печей, облицованных дешевыми белыми голландскими изразцами [33].

Краткая характеристика некоторых комнатных печей, использованных и при строительстве доходных домов, представлена в табл. 2.

Таблица 2

#### Комнатные печи в XVIII–XIX вв.

Наименование	Авторы, страна происхождения	Период использования	Основные характеристики, достоинства, недостатки
Печь с горизонтальными дымооборотами. Печь «змеевиком»	Россия	С 1736 г.	Модернизированная голландская. Отличие – гладкая внешняя поверхность, сомкнутые дымообороты, более равномерная теплоотдача и длительный период остывания. Недостатки – появление горизонтальных трещин, избыточное скопление сажи на горизонтальных участках
Печь «колодцами»	Россия	С 1742 г.	Вертикальные последовательные дымообороты
Печь с дымооборотами внутри стены (рис. 28)	Россия	С 1754 г.	Отопление двух смежных комнат второго этажа во дворце графа И. И. Шувалова
Двухъярусная печь	Россия	Середина XVIII в.	Топка на первом этаже, дымообороты в комнатах второго этажа
Печи с заложенными в топливник чугунными трубами	Россия	Середина XVIII в.	Труба сообщалась с атмосферным воздухом. Нагретый воздух поступал в отапливаемое помещение

1. Особенности архитектурных и инженерных решений зданий...

Продолжение табл. 2

Наименование	Авторы, страна происхождения	Период использования	Основные характеристики, достоинства, недостатки
Печь комбинированного отопления («духовая»)	Н. А. Львов	С 1793 г.	Модернизация предыдущей конструкции. Спиралеобразная трубка располагалась в огневом пространстве топливника
Печь из керамических блоков	Россия	Конец XVIII в.	Установлены циркуляционные каналы и поддувало. Вход воздуха через розетку над топочной дверцей и выход через щели в верхней части печи
Русский камин, каминно-печь (рис. 29 и 30)	Россия	С 1736 г.	Закладка дров одновременно. Имеются поддувало и колосниковая решетка, циркуляционные воздушные каналы. Схема дымооборотов параллельно-последовательная с возможностью регулирования потоков
«Фигурная печь и камин» (рис. 31 и 32)	Западная Европа	С конца XVIII в.	Низкие показатели теплоотдачи вследствие большого количества нефункциональных украшений (ваз, лавровых венков, зеркал)
Огневоздушная печь Уттермарка (рис. 33)	Уттермарк	С 1820-х гг.	Печь в металлическом круглом футляре с глухим подом и последовательными дымооборотами. Комнатный воздух, проходя снизу вверх, нагревался в центральном металлическом канале и поступал в помещение. Низкие санитарно-гигиенические показатели

Наименование	Авторы, страна происхождения	Период использования	Основные характеристики, достоинства, недостатки
Пневматическая печь (рис. 34)	Н. А. Аммосов	С 1835 г.	После топливника устанавливалась камера для догорания дымовых газов, стальные дымообороты. Воздух, наружный или рециркуляционный, поступал снизу и после нагрева выходил в отапливаемое помещение. Недостатки – прогорание стальных труб калорифера, пригорание воздушной пыли, вынос сажи в помещение
Кирпичные калориферы (рис. 35 и 36)	И. И. Связев, С. Б. Лукашевич и др.	С середины XIX в.	Калориферы с горизонтальными и вертикальными дымоходами. Топливо – дрова, торф, уголь

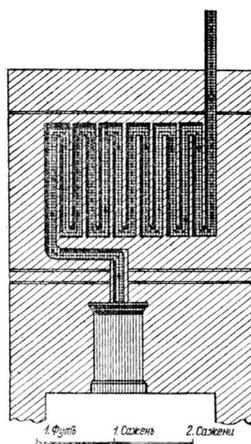


Рис. 28. Печь с дымооборотами внутри стены (1754 г.)

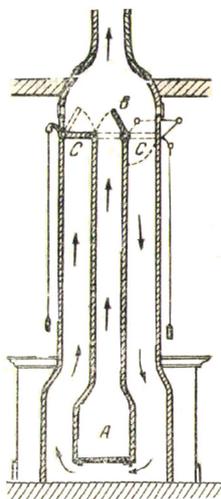


Рис. 29. Русский камин (XVIII в.)

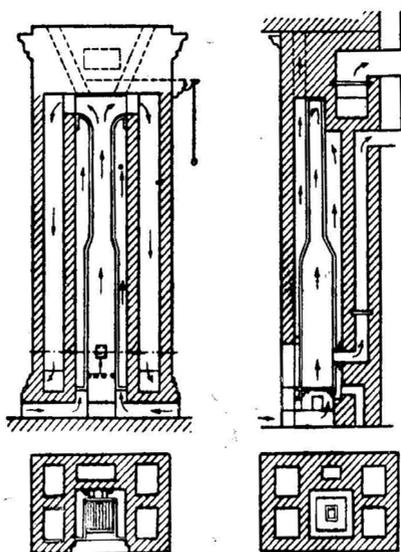


Рис. 30. Массивная кирпичная (русская) печь

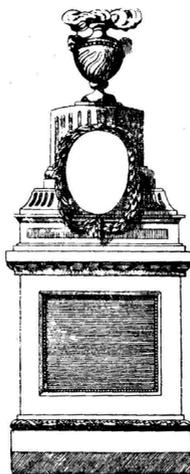


Рис. 31. Фигурная печь (конец XVIII в.)

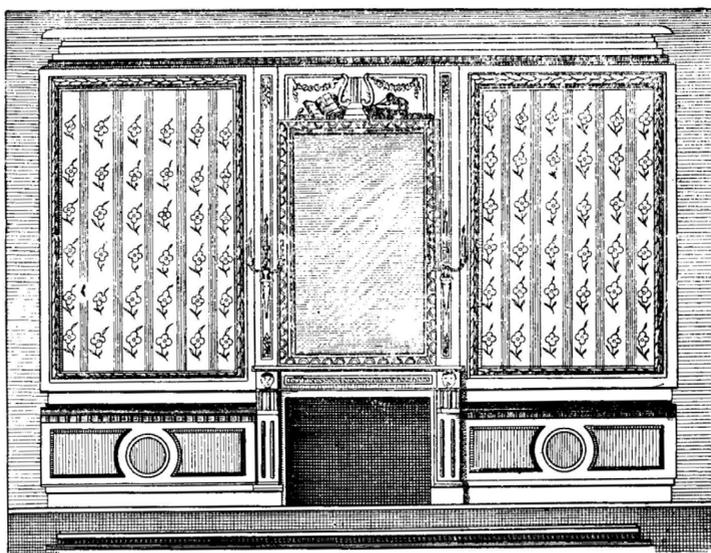


Рис. 32. Камин (конец XVIII в.)

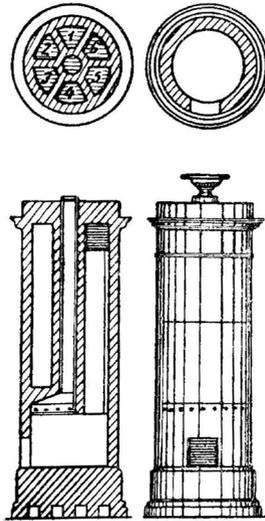


Рис. 33. Печь Уттермарка

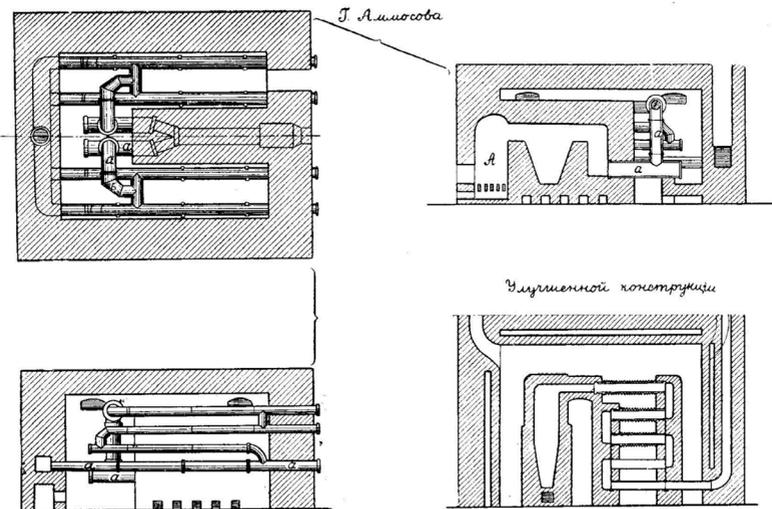


Рис. 34. Пневматическая печь системы Н. А. Аммосова

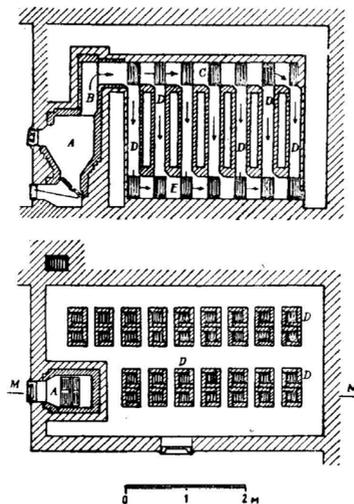


Рис. 35. Кирпичный калорифер конструкции С. Б. Лукашевича

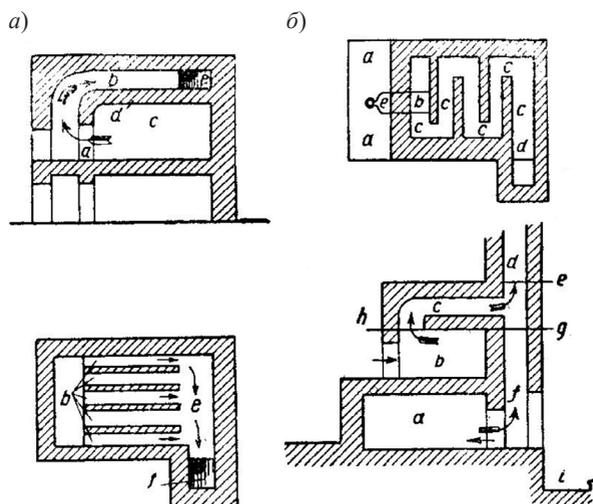


Рис. 36. Русская печь системы И. И. Связьева с дымооборотами (а) и с нижним ярусом для использования в теплый период года (б)

Печь с вертикальными дымооборотами имела минимальную площадь теплоотдающей поверхности, вследствие чего обеспечивала более длительную и равномерную теплоотдачу. Длина дымооборотов достигала 10 м. Значительная толщина стены обеспечивала более экономичный режим топки, чаще всего – один раз в сутки без существенного понижения температуры.

Известны конструкции большой и средней теплоемкости русских печей для различных климатических условий, особенностью которых является закладка дров один раз перед топкой. Так, в работе [33] имеется описание «Русского камина» (см. рис. 29), который использовался во Франции и Германии во второй половине XVIII в., а затем и в Англии. «Русский камин» (камино-печь) был снабжен клапанами для переключения режимов. При открытом клапане *B* дымовые газы из топливника *A* шли сразу в дымовую трубу. Если же клапан *B* и шарнирно связанный с ним клапан *C* закрыты, то число дымооборотов увеличивается. Таким образом, в зависимости от внешних и внутренних условий можно было применять более экономичный режим отопления.

Массивная кирпичная печь (см. рис. 30) также имела обходной канал, по которому дымовые газы из топливника удалялись в атмосферу. При перекрытии этого канала обеспечивалось движение дымовых газов через развитую сеть дымооборотов, создавая более длительный нагрев отапливаемого помещения.

Негативное влияние на русское печное искусство оказало в конце XVIII в. увлечение иностранцами, так называемыми фигурными печами (см. рис. 31) и каминами (см. рис. 32), которые вследствие избыточного украшения теплоотдающей поверхности резко снижали теплоотдачу.

В связи с развитием многоэтажного каменного строительства в XIX в. появилась необходимость в централизованном отоплении. Основой для развития такого отопления были установки воздушного «духового» отопления, так называемые воздушные или пневматические печи и камины, изобретенные Н. А. Львовым. Пневматическое или, говоря современным языком, воздушное ото-

пление с огневыми калориферами широко применялось в России вплоть до конца XIX в.

Н. А. Львов первым в России опубликовал научно-техническую работу по отопительно-вентиляционной технике «Русская пиростатика». В 1795 г. была издана первая часть, вторая – в 1799 г. Таким образом, были заложены основы отечественного конструирования печей и систем печного отопления. Николай Львов предлагал повысить эффективность теплоотдачи камина и печи путем встраивания в них металлических (гончарных) труб, по которым циркулировал бы и подогревался подаваемый снаружи воздух, обосновал целесообразность применения колосника. Его идеи спустя 70 лет были использованы в пневматических или калориферных печах, которые функционировали вплоть до XX в.

Не все конструкции пневматических печей были оценены по достоинству. Так, несмотря на широкую известность теоретических и практических работ арх. И. И. Свйазева, комнатные печи его конструкции не получили широкого распространения. Связано это было как с большим увлечением печами Уттермарка вплоть до 70-х гг. XIX в., так и предубеждением против применения в печах листовой стали, на поверхности которой происходило пригорание пыли. Особенностью конструкций печей И. И. Свйазева было отсутствие колосниковой решетки для реализации принципа получения из твердого топлива горячего газа и последующего его сжигания с целью повышения КПД.

Широко известны пневматические печи конструкции генерала Н. А. Аммосова благодаря тому, что в 1835 г. он получил привилегию (патент) на «пневматические печи своей конструкции», а также тому, что такие печи были установлены в Зимнем дворце в Санкт-Петербурге [33]. За шесть лет (1835–1841 гг.) Н. А. Аммосовым было установлено 420 «больших и малых печей» в Петербурге и других городах России.

Все печи требовали постоянного обслуживания и контроля температуры в помещениях. Для снижения потерь теплоты обслуживаемых помещений и обеспечения чистоты появились так

называемые проемные печи, дверцы которых выходили в коридор, на лестницу или в специальное топочное помещение. Название «топочная» использовалось даже в отечественных нормативных документах XX в. Первые проемные печи появились в 1730-е гг.; особенности их конструктивного оформления описаны в работе [34].

С 1880 г. стали использоваться однооборотные печи с нижним обогревом и щелевидным топливником системы С. Б. Лукашевича, главное преимущество которых заключалось в установке колосниковой решетки.

Немного позднее появились печи инженера П. В. Степанова, некоторые их конструкции позволяли не только нагревать, но и увлажнять наружный воздух. В качестве топлива в этих печах можно было использовать не только дрова, но и каменный уголь, торф. Такие печи при работе на торфе имели КПД до 77 %.

Впервые анализ состояния микроклимата помещений при использовании различных типов печей был выполнен в 1882 г. в исследовании инженера И. Д. Флавицкого «Здоровое и вредное отопление и оздоровление жилых помещений» [34]. Это научно-популярное изложение гигиенических сведений для практического применения их к отоплению и вентиляции зданий, выдержавшее несколько изданий. И. Д. Флавицкий считал, что в условиях нашего климата более целесообразно использовать кирпичные печи [35].

С. М. Миркис [36] насчитал свыше ста наименований книг, относящихся к печному отоплению, вышедших за период с 1870 по 1917 г. Сюда входят как учебники по отоплению и вентиляции для вузов, так и всевозможные пособия и рекомендации для инженеров, десятников, домовладельцев, печников и других читателей.

В квартирах использовались печи разных видов, многие были пожароопасными. В квартирах бедных людей устанавливали «буржуйки» – круглые Уттермарковские печки с трубами через всю комнату для нагрева в них воздуха. В более дорогих квартирах возле одной из стен в каждой комнате устанавливались более эффективные печи самых разных конструкций, в большинстве облицованные изразцами [37]. Для растопки использовались дрова,

если они оказывались сырыми, печь начинала дымить. Такие печи были тоже далеко небезопасными. В России же дрова, необходимые для топки печи, мерили саженьями, считалось, что именно сажень дров (примерно 8 м<sup>3</sup>) необходима на каждую печь на отопительный период [38].

В самых дорогих квартирах были каминны [39], которые в большей степени служили декоративной отделкой помещений из-за низкой теплоотдачи и большого расхода дров. Однако идея каминна как центра и символа дома преодолевала все его очевидные недостатки [27] – вблизи огня было жарко, а чуть поодаль холодно. Англичане, например, предпочитали жариться с одного бока и замерзать с другого, но не переходили на континентальные печи вплоть до ввода центрального отопления [40].

Для защиты от слишком сильного тепла перед камином ставили декоративный экран. Чугунная внутренняя облицовка каминна имела призматическую форму и вставлялась в нишу топки, в XIX в. ее стали отливать целиком. Боковые стенки топки выкладывались под углом с задней стенкой – изобретение, сделанное американцем графом Рамфордом (Румфордом) еще в XVIII в. и призванное отражать часть тепла не в дымоход, а в сторону комнаты [41]. К облицовке крепились топочная решетка (под) для углей, что обеспечивало равномерный приток воздуха к топливу, и барьерная, предупреждавшая выпадение углей на пол. Кроме того, Румфорд сузил дымовую трубу, направив, таким образом, дым вверх по трубе. Кроме того, в состав каминна Рамфорда входит специальная поворотная заслонка, которая может менять угол наклона и тем самым регулировать расход воздуха и направление движения дыма.

В результате камин Румфорда стал значительно меньше, имел более привлекательный вид, горение дров видно под любым углом. Считается, что каминны Рамфорда напоминают русскую печку. Несмотря на значительные усовершенствования, каминны оставались в большей степени декоративными в связи с особенностями русского климата, так как давали тепло только в то время, когда в них горел огонь. Но именно привлекательность живого огня, его

магнетическое воздействие на человека примиряло людей с недостатками каминов как отопительных приборов. Даже в дворцовых спальнях температура зимой не достигала  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  [42], а в комнатах – не выше  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что существенно ниже современных норм [43, 44]. Хотя, например, в Англии спальни вообще не отапливались.

Лондон отапливали углем, но в России отечественный уголь спросом не пользовался, а английского в год в Санкт-Петербург приходило всего 5–6 кораблей [27], поэтому использовали преимущественно дрова. К концу XVIII в. окрестные леса изрядно поределели, поэтому дрова и древесный уголь стали доставлять по всем водным артериям [42], что неизбежно отражалось на стоимости дров и арендной плате. Дрова привозили на баржах из Эстонии и Финляндии или по Неве из Карелии. Разгрузкой занимались прямо на набережных [27].

Отопление как услуга являлось средством воздействия на жильцов доходных домов [33]. Значительные проблемы эксплуатации печей создавала с точки зрения пожарной опасности [45]. Были проблемы и с качеством воздуха, на которое мало обращали внимания. Жители жаловались на сухость воздуха и высокую температуру воздушных труб [33]. Но необходимость экономии дров, а также невозможность топить печь во избежание пожара чаще, чем дважды в сутки, отодвигали вопросы гигиены жилища на второй план. Форточки внедрялись в быт очень медленно, комнаты не проветривались месяцами: хозяева панически боялись сквозняков, холода, предпочитая дышать спертым воздухом, лишь бы не подвергнуться опасности простуды. К тому же в повсеместно распространенных двойных рамах вторые (зимние) рамы вообще не имели форточек. Чтобы избавиться от дурных запахов, широко применяли всякого рода ароматические средства – жгли курительные свечи, пропитанные душистыми смолами угольные пирамиды, именуемые «монашками», а также специальную бумагу [27].

Заканчивая анализ развития печного отопления, можно сделать следующие выводы:

- исследование истории отопительных систем позволяет отнести русскую систему к числу самых высокоразвитых, что обуслов-

лено длительностью отопительного периода (до 10–11 мес. у поморов Архангельской губернии и на Северном Урале), необходимостью установки большого количества печей (иногда по две в одной комнате) и неограниченным запасом топлива в виде древесины;

- стандартная система отопления в начале XIX в. складывалась из беленой русской печи, голландки (изразцовая печь квадратной формы), круглой кирпичной печи с плоскими или рифлеными металлическими листами, реже – камина;
- для придания привлекательного вида, обеспечения санитарно-гигиенических требований и повышения долговечности печи облицовывались различными по качеству изразцами, каминны – мрамором и другими ценными породами камня;
- во второй половине XIX в. наибольшее распространение получили пневматические (воздушные) печи.

Однако печное отопление, начиная со второй половины XIX в., способствовало заметному уменьшению площади жилых комнат вследствие увеличения необходимого пространства под хозяйственные нужды. В первую очередь это связано с обустройством отопления. Так, например, четырехкомнатная квартира доходного дома К. И. Капустина (наб. р. Фонтанки, 159), построенного арх. А. Ф. Бубырем в 1907–1909 гг. [25], имела площадь примерно 100 м<sup>2</sup> (рис. 37).

Квартира имела два входа: парадный и черный для хозяйственных нужд, неплохо оснащена (ванна, туалет), хотя это один из экономных вариантов. Отопление квартиры – печное, только в хозяйской части. В ванной имеется дровяной титан. В качестве примера на рис. 37 приведена фотография богатой ванной из меди с дровяным титаном, который сохранился в музее-квартире Елизаровых. Техническая часть квартиры занимает около трети общей жилой площади [25].

Все перечисленные недостатки печного отопления способствовали поиску более совершенных отопительных систем. Известно [33, 46], что впервые на пар как на возможный источник отопления обратили внимание М. Боннеман во Франции, Н. А. Львов в России и Сларк в Англии еще в конце XVIII в., когда пар стал

## 1. Особенности архитектурных и инженерных решений зданий...

активно использоваться для приготовления пищи. Первые описания системы парового и водяного отопления в Западной Европе были сделаны А. А. Нартовым в начале XIX в.

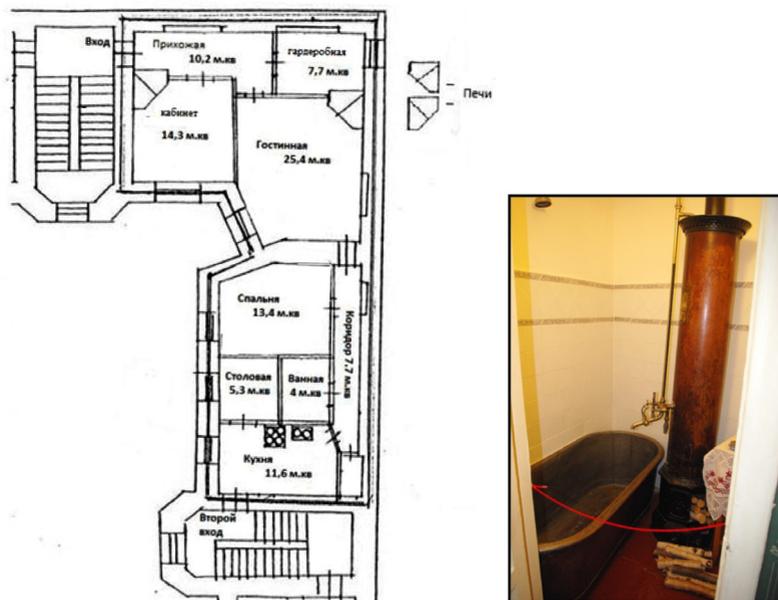


Рис. 37. Планировка квартиры и ванной комнаты в доходном доме (слева); ванна из меди с дровяным титаном (справа)

Первоначально новые системы использовались для небольших объектов – теплиц (в 1830-х гг. в теплицах графа Д. А. Зубова), инкубаторов (1777 г., француз Беннеман), небольших общественных объектов. После изобретения паровой машины стало развиваться и паровое отопление. В 1817 г. французский инженер де Шабан разработал систему парового отопления консерватории в Париже, а в 1819 г. такой системой были оборудованы два жилых дома в Лондоне. С 1820 г. система распространилась и в других жилых домах Лондона. Это стало возможным благодаря существенному росту производства литых чугунных труб. В 1825 г. в Париже

Третгольдом было издано первое руководство по устройству паровых систем отопления.

Попытки устройства гравитационной системы водяного отопления и создания теоретических основ были предприняты в 1830-е гг. столетия русским ученым П. Г. Соболевским, известным своими работами в металлургии, химии, светотехнике.

В 1831 г. американец Дж. Перкинс патентует водяную систему отопления высокого давления до 7 МПа и температурой до 260–300 °С, но вместо котла была использована нагревательная печь.

В 1844 г. полковник И. А. Фуллон и арх. А. Ф. Щедрин впервые создали водо-воздушную систему отопления и вентиляции в здании Петербургской академии художеств. После устройства И. И. Флавицким водовоздушного отопления в Александровской больнице в Санкт-Петербурге водяные и паровые caloriferы стали широко применяться сначала в общественных, а потом и в жилых зданиях. Хотя эти системы также имели ряд недостатков, связанных с качеством труб и их соединений, из-за протечек.

Применялось также водяное отопление по системе французского инженера Л. Дювуара – горизонтального типа с отопительными приборами в виде чугунных цилиндрических печей со сквозным внутренним каналом. Сохранились определенные указания для применения в России видоизмененной системы водяного отопления Дювуара [33].

Во второй половине XIX в. появился первый отопительный радиатор – прямоугольная коробка из толстых металлических труб с вертикальными дисками. Изобретатель радиатора, немец итальянского происхождения Франц Карлович Сан-Галли, проживавший в Санкт-Петербурге, назвал его хайцкерпер (горячая коробка). Созданный Сан-Галли завод занимался выполнением водяного отопления с отопительными приборами из ребристых труб, при этом фасонные части и арматура завозились из Германии. Ребристые трубы были использованы в 1863 г. при оборудовании водяным отоплением повышенного давления с горизонтально-цепочечной разводкой сети одного из зданий при Академии художеств в Петербурге.

В 1855 г. модернизированная система водяного отопления высокого давления Перкинса была оборудована в здании Николаевского сиротского института, которая проработала 10 лет практически без ремонта [47]. В качестве отопительных приборов использовались гладкие трубы, проложенные по периметру пола.

К 1870-м гг. уже многие лечебные, административные, жилые дома и другие объекты были оборудованы различными системами водяного отопления, причем предпочтение стали отдавать проектам водяных систем низкого давления, учитывая недостатки водяного отопления высокого и среднего давления в гигиеническом отношении, несмотря на дешевизну и удобство монтажа трубопроводов малого диаметра.

С 1860-х гг. водяное отопление низкого давления в виде вертикальных и горизонтальных однотрубных систем сооружалось в различных городах России Петербургским металлическим заводом С. Н. Растеряева [48]. Особенно высокого уровня развития завод достиг в период с 1867 по 1892 г., когда директором был О. Е. Крель (рис. 38).

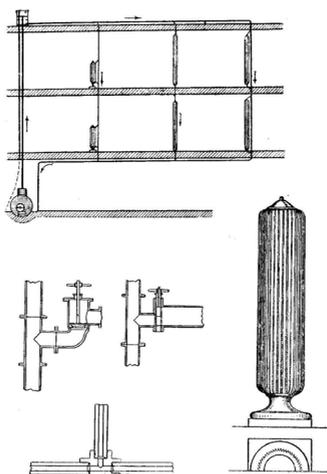


Рис. 38. Однотрубно-вертикальная система отопления (80-е XIX в.) с отопительным прибором и арматурой

В 1880 г. здесь был выпущен первый отечественный паровой котел для систем отопления. На рис. 39 приведены конструкции отопительных котлов различных производителей, но в конечном итоге использоваться стал только горизонтальный цилиндрический котел с одной жаровой трубой.



Рис. 39. Типы отопительных котлов (середина XIX в.)

На заводе по собственным проектам производились предварительная заготовка и сборка отдельных элементов, монтаж также осуществляли рабочие завода. Использовалась скрытая прокладка вертикальных труб, ребристые трубы закрывались щитами и декоративными решетками, отопительные приборы – в виде вертикальных оребренных тумб различной высоты с обходными ветками вдоль них. На каждом отопительном приборе стали устанавливать регулирующие краны.

К 1900 г. относится начало выпуска отопительного оборудования в производственных масштабах на фирме *Strebel* после того, как Йозеф Штребель запатентовал чугунный секционный котел с нагревательными элементами.

К этому же времени относится и начало активной работы над законопроектами, регламентирующими технические характеристики производства отопительного оборудования, нормы безопасности, а также методы расчета энергопотребления помещений.

В 1875 г. К. Лешевич впервые устроил квартирное водяное отопление низкого давления с вертикальными плоскими стальными отопительными приборами, действующими самостоятельно или во время топки кухонного очага, хотя некоторые приписывают авторство первой квартирной системы печных дел мастеру Давыдову [47]. Общая тепловая мощность системы для 4-комнатной квартиры составила 43 558 кал/ч, а поверхность нагрева котла в 33,75 кв. фут. При эксплуатации системы в течение зимы 1875–1876 г. температура во всех комнатах поддерживалась в пределах 17–21 °С.

В 1890-х гг. появилась двухтрубная система отопления под влиянием теоретических и практических исследований немецкого инженера Г. Ритшеля [48], практические руководства которого использовались до 30-х гг. XX в.

В это же время русский архитектор и гражданский инженер С. В. Баниге проектировал не только дома и надстройки к существующим доходным домам, но и инженерные системы в них – отопление, вентиляцию и канализацию. Так, по его проектам были построены и оборудованы инженерными коммуникациями доходные дома на углу Веденской ул., 24, и Кронверкского пр., 55; на пересечении Дегтярной ул., 27, и Советской ул., 31; дом № 30 на 9-й линии В. О.; по Лахтинской ул., 30, и некоторые другие.

В начале XX в. (примерно в 1900 г.) после появления чугунных радиаторов стали использовать более дешевые варианты водяного отопления с открытой прокладкой вертикальных труб и открытой же установкой возле труб приборов. Для уменьшения диаметра труб предлагались, в частности, архитектором и гражданским инженером А. К. Павловским различные решения с использованием подмешивания к воде в вертикальных трубах воздуха, пара, перегретой воды [49]. Как архитектор и инженер, А. К. Павловский

#### 1.4. Системы обеспечения микроклимата доходных домов до революции

участвовал в строительстве и реконструкции зданий, в том числе доходных домов князей Голицыных (ул. Маяковского, 11; Ковенский пер., 1), на Каменноостровском пр., 41 (рис. 40), казарм для рабочих мусоросжигательного завода (Старообрядческая ул., 15; Ташкентская ул., 15).

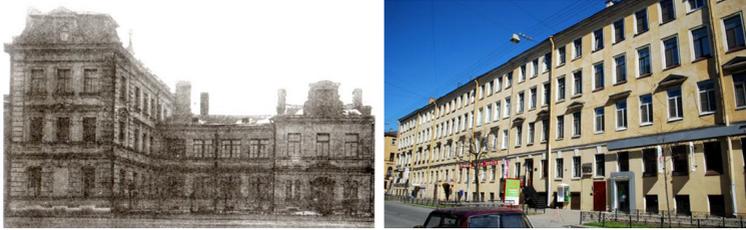


Рис. 40. Доходные дома: Каменноостровский пр., 41 (слева); дом князей Голицыных (справа)

В. М. Чаплин разработал и в 1903 г. впервые применил в Москве пароводоводяное отопление с побуждением циркуляции воды пароструйным инжектором. Для отопления здания устанавливались два котла: паровой и водогрейный. Для пароструйного инжектора генерировался пар под давлением 0,05–0,3 МПа (в зависимости от высоты здания). Перегретая вода с температурой 100–150 °С, смешиваясь с охлажденной водой, поступала при температуре не выше 90 °С для отопления помещений [50]. По проектам Торгового дома «В. Г. Залесский и В. М. Чаплин» были выполнены системы отопления и вентиляции более 1500 зданий во многих городах России.

В центральной котельной этой системы (рис. 41) установлены водогрейный котел *A* и паровой *B*. В цилиндре *C* местной системы водяного отопления происходило смешение воды двух различных температур: более горячая вода, идущая из котла *A* по трубам *a* и ответвлениям *d*, вспрыскивается в нижнюю часть цилиндра *C*, частично подсасывает более холодную воду из обратных трубопроводов местной системы и вместе с тем повышает гидродинамическое давление в этой системе. Соответствующий объем воды

вытесняется из местной системы по трубе *b* в сборник *D*, установленный в котельной, откуда эта вода подсасывается пароструйным элеватором *K* и этим же элеватором направляется через водогрейный котел *A* в магистральные трубопроводы *a*. Питание парового котла *B* происходит автоматически через переливную трубу расширительного сосуда *L*. Температура воды, выходящей из котла *A*, обычно поддерживалась на уровне 100–105 °С. Паровой котел *B*, в зависимости от радиуса действия всей системы, работал под давлением от 0,5 до 3,0 ат.

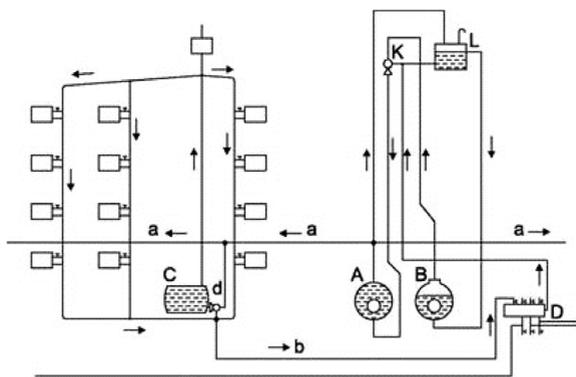


Рис. 41. Схема пароводяного отопления системы В. М. Чаплина

К моменту появления паро-, водо-водяного отопления системы проф. Чаплина пар уже широко использовался как теплоноситель «дальнего действия» не только на фабриках и заводах, но и в гражданском строительстве. В последнем случае пар служил для нагрева воды при помощи бойлеров рубашечного типа или с паровым змеевиком в местной гравитационной системе отопления.

В 1905 г. В. А. Яхимович разработал и внедрил «трубчатые приборы с рубашкой из бетона» – паробетонные приборы панельно-лучистого отопления, основанного на заделке нагревательных элементов в толщу ограждающих конструкций помещений [47]. В последующие 10 лет было выполнено свыше 100 таких ото-

пительных установок не только в Саратове, но и других городах России, в том числе и в Петербурге.

В начале XX в., когда пар уже давно успешно использовался в промышленности, появилось и районное отопление – несколько зданий стали снабжаться паром из одного центра, а в зданиях устанавливались пароводяные теплообменные аппараты (бойлеры) и оборудовалось водяное отопление с естественной циркуляцией. Автором первого проекта был А. К. Павловский. Наружные паропроводы и конденсатопроводы прокладывались в подземных туннелях высотой 2,0 м и шириной 1,25 м [33].

Начало применения насосов в России для побуждения циркуляции воды относится к 1909 г., когда насосное водяное отопление с нижней разводкой впервые было осуществлено в Михайловском театре в Петербурге по проекту Н. П. Мельникова. В двухтрубной системе водяного отопления каждый радиатор снабжался обходной веткой с переключательным трехходовым краном для пропуска воды при выключении радиатора. Источником теплоты был отработанный пар от местной электростанции.

Осторожное отношение к использованию насосов в водяном отоплении последовало после отрицательного выступления Г. Ритшеля и доклада инженера А. Тихельмана о насосной системе водяного отопления на III Германском съезде по отоплению и вентиляции в 1901 г. [47]. Тем не менее в последнем прижизненном 4-м издании «Курса отопления и вентиляции» С. Б. Лукашевич [51] положительно оценивает новые системы. И насосные системы водяного отопления к 1912 г. уже были запроектированы Н. П. Мельниковым в нескольких крупных зданиях, в том числе в корпусах Института инженеров путей сообщения, где устраивалось впервые водо-водяное отопление с радиусом действия около 400 м и давлением 100 кПа. Также в эти годы в здании Эрмитажа воздушное отопление системы Н. А. Аммосова было заменено водяным.

Водяными системами отопления оборудовались в основном новые доходные дома. В начале XX в. с появлением моста через Неву на Петроградскую сторону застраивался Каменноостров-

ский пр., там появились дома со всеми удобствами того времени. Точно так же до 15-й линии в это время застраивается Васильевский остров. Считается, что бурное строительство десятков доходных домов в 5–7 этажей и выше в Санкт-Петербурге первого десятилетия XX в. – следствие развития центрального отопления, в некоторых домах до настоящего времени сохранились отопительные системы со времени постройки [23].

Большинство фирм, работавших в России, предпочитало монтировать системы отопления с расчетом внутридомовой сети на гравитационную циркуляцию воды и с установкой вместо котлов в подвале закрытых емкостных резервуаров, смена воды в которых производилась из центральной котельной уже при помощи центробежных насосов. Эта система отопления жилых корпусов по Каменноостровскому пр. в Петербурге (проект и выполнение завода Зигеля, 1912 г.) исправно действовала и в 1950 г., обслуживая свыше 4000 м<sup>2</sup> радиаторов [47].

Недостатки гравитационной системы водяного отопления – ограниченный радиус действия, большие диаметры трубопроводов и т. д. – привели к необходимости создания систем с искусственным побуждением, хотя обоснованием таких систем занимались еще в XIX в. (например, «циркулятор» Экштейна и Басби в 1832 г.).

К 1900 г. 14 % домовладений электрифицировали, 6 % петербургских домов уже имели недровяное отопление (из 597 – 609 домов). Из них 40 % – паровое отопление, чуть менее (37 %) – водяное отопление и отопление горячим воздухом – 23 % домов [47]. Только 183 из 609 домов полностью отказались от дровяного отопления. В остальных использовались смешанные типы. В основном использовались такие схемы:

- радиаторы парового, водяного отопления или отопления горячим воздухом устанавливались на парадных лестницах и в престижных квартирах 2-го и 3-го этажей;
- дровяное отопление в дешевых квартирах верхних этажей, мансардах и подвалах, а также в хозяйственных и кухонных помещениях престижных квартир.

Как описано в работе [47], в 4-этажном доходном доме М. И. Янчевской на Большой Московской ул., 6, построенном в 1853 г. по проекту акад. арх. А. И. Ланге и реконструированном в 1872 г., отопление осуществлялось несколькими способами. В квартире домовладельцев и с 3-й по 10-ю квартиру было отопление от паровых котлов, в остальных квартирах отопление осуществлялось 11 каминами, тремя английскими «изразчатými» печами, а также большим количеством голландских простых и изразцовых печей.

Внедрение системы централизованного отопления в России шло достаточно медленно, несмотря на многочисленные инженерные разработки того времени, которые внесли значительный вклад в мировую практику отопления.

Революция и гражданская война заставили вернуться к печам, затормозив развитие отопления. При создании плана ГОЭЛРО инженером В. В. Дмитриевым была предложена система централизованного отопления, совмещенного с генерацией электроэнергии, реализуемой на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ). 25 ноября 1924 г. к государственной электростанции № 3 (ТЭЦ-3), расположенной в Ленинграде, был подключен дом № 96 на наб. р. Фонтанки [52]. К 1927 г. длина тепловых магистралей составляла 5 км. В 1930-е гг. практика строительства ТЭЦ была значительно расширена. При вновь возводимых промышленных предприятиях строятся жилые районы (соцгородки) с многоквартирными домами, оснащенными радиаторами водяного отопления.

Во время блокады в жилые дома, в том числе и бывшие доходные, вернулось печное отопление. И только в послевоенный период сформировалась современная система теплоснабжения [53]. В 1960-х гг. практически все доходные дома были оборудованы системами водяного отопления в основном от газовых котельных или ТЭЦ. При этом в Ленинграде во всех многоэтажных зданиях, в том числе и бывших доходных, при проектировании отопления предпочтение стало отдаваться вертикально-однотрубному соединению отопительных приборов (рис. 42).

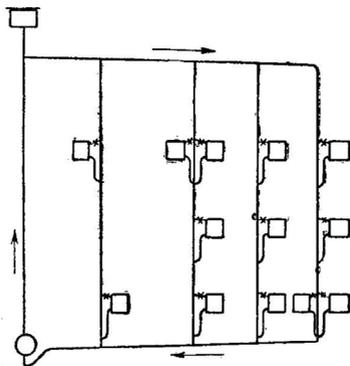


Рис. 42. Вертикально-однотрубное соединение отопительных приборов

Что касается расчетных данных, то имеются лишь отрывочные указания на то, что теплопотери помещений подсчитывались по таблицам инж. А. А. Саткевича (изд. 1898 г.) [23].

В конце 1860-х гг. появились практические руководства по устройству систем отопления:

- «Собрание таблиц и формул для инженеров, архитекторов и механиков», составленное военным инженером А. А. Недзьялковским при участии Г. С. Войницкого, где впервые приведена формула Ньютона для подсчета теплопотерь отапливаемых помещений [54];

- курс лекций «Отопление и вентиляция» военного инженера и архитектора Г. С. Войницкого [55]; 1-е литографическое издание было опубликовано в 1878 г.

До революции вентиляция устраивалась преимущественно в производственных зданиях, при этом во многих случаях и в фабрично-заводских зданиях для борьбы с вредными выделениями ограничивались естественным проветриванием. На вентиляцию общественных, тем более жилых, зданий смотрели как на предмет роскоши. Устраивалась вентиляция по необходимости в госпиталях, казармах и больницах и лишь иногда в особых зданиях, таких как театры [33]. Известно, что приточные и вытяжные си-

стемы обустроивались для указанных помещений в разных странах, в частности во Франции, начиная с первой половины XIX в. В конце XVIII в. произошло несколько событий, связанных с гибелью людей, находящихся длительное время в закрытых и тесных помещениях.

Появилось много изобретений вентиляторов. В 1832 г. горным инженером генерал-майором А. А. Саблуковым был представлен новый центробежный вентилятор. Однако практически только в XX в. стали использовать системы вентиляции с механическим побуждением, когда появился электрический привод вентиляторов.

В 1859 г., после учреждения специального Комитета по рассмотрению различных систем вентиляции «применительно к климатическим условиям России», начались более систематические теоретические исследования в этой области. В 1864 г. были опубликованы труды комитета, в 1870 г. – практическое руководство по вентиляции и отоплению инженера И. Д. Флавицкого [35].

В жилых зданиях, особенно в России – из-за климатических особенностей, главной задачей было отопить помещения. Из-за печного отопления и освещения с помощью свечей и керосиновых ламп в доходных домах наблюдалось повышенное содержание оксида углерода. Для проветривания помещений использовались преимущественно отдушины в печах [27]. Вентиляционные отверстия в дымоходах украшали кованными решетками. Они служили для удаления отработанного воздуха при работе печи и, соответственно, создавали разрежение в помещении для поступления воздуха из смежных помещений и лестниц, через открываемые окна и форточки. Однако из-за особой конструкции окон того времени регулировать поток наружного воздуха было затруднительно. С целью увеличения прибыли комнаты чаще вытягивали в глубину, что ухудшало их освещенность и воздухообмен. Кроме того, многие жители в целях экономии дров не стремились, особенно в холодное время, обеспечивать приток наружного воздуха.

Во многих многоквартирных домах долгое время сохранялись туалеты, сделанные на черных лестницах. Только в богатых

квартирах был туалет и устраивалась общедомовая вентиляция с вентиляционными каналами в стенах. Канализация в некоторых домах была, но выгребные ямы располагались во дворах рядом с домом.

В работе [35] представлен анализ вентиляции при производстве работ в горячих цехах, в разных типах помещений, в том числе и в жилых. Также исследовалось влияние на воздухообмен размещения приточных и вытяжных отверстий, разности температур, ветра, барометрического давления, работы отопительных систем. Еще в 1795 г. наш соотечественник В. Х. Фрибе установил принципы вентилирования помещения через неплотности ограждений под влиянием температурного и ветрового напора [32]. На основе изучения процессов инфильтрации и эксфильтрации через неплотности в наружных ограждениях в 1867 г. И. И. Связевым был предложен оригинальный способ вентиляции с использованием холодного наружного воздуха. Предлагалось подавать наружный воздух под потолком помещения через канал, снабженный медной сеткой, или же с выпуском воздуха у внутренней стены комнаты через отверстие под карнизом, причем в последнем случае холодный воздух пропускается предварительно между подшивкой и подбором потолка помещения [57].

В этот период наибольшей популярностью пользуются работы инженера С. Я. Тимоховича [58], который предложил осуществлять ввод наружного воздуха под потолком помещения через щелевидные отверстия, затянутые материей.

Вентиляционные системы в виде каналов в наружных стенах применялись в строительстве еще в XIX в., о чем свидетельствуют многочисленные решетки на фасадах доходных домов (рис. 43). На рис. 43 (слева) решетки обозначены красным кружком.

Во второй половине XIX в. приобрел популярность способ термического побуждения для удаления воздуха из вентилируемых помещений. В работе [33] так описан этот способ: «В середине потолка приспособляют отверстие, удобно закрываемое, имеющее сообщение с наружным воздухом. Под отверстием висит люстра

#### 1.4. Системы обеспечения микроклимата доходных домов до революции

для ламп или свечей. Когда они горят, то, нагревая, разрежают воздух, который, будучи легче, уходит через отверстие, уносит собою нечистые пары и испорченный воздух». Такое оборудование вытяжной вентиляции в зрительных залах просуществовало во всех российских театрах почти до конца XIX в., вплоть до замены газового освещения электрическим. Приток также осуществлялся в верхнюю зону. Все эти системы естественной вентиляции базировались на принципах, изложенных М. В. Ломоносовым в его работе «О вольном движении воздуха в рудниках примеченном», опубликованной в 1763 г.



Рис. 43. Решетки на фасадах доходных домов

Первые установки приточно-вытяжных систем вентиляции с централизованным подогревом не только притока, но и вытяжки, были осуществлены в России инженерами Н. К. Дершау и И. Д. Флавицким в период с 1861 по 1863 г. в Петербурге в ряде таких объектов, как казармы, больницы и госпитали. В этих установках для подогрева приточного воздуха использовались огневые и водяные калориферы, а вытяжного воздуха – чугунная печь (рис. 44 и 45). Предлагалось в системе и увлажнение воздуха.

Современники отмечали интересное устройство вентиляции и отопления в особняке владельца чугунолитейного и механического завода Ф. К. Сан-Галли, который был известен как изобретатель прибора отопления. Здание было построено на Лиговском пр. по проекту К. Рахау около 1870 г. Проект вентиляции разработал

Ф. К. Сан-Галли. Система вентиляции включала две камеры с искусственным нагреванием и увлажнением воздуха из сада. Система обеспечивала свежим нагретым воздухом все комнаты. В случае присутствия большого количества людей дополнительно использовалась вытяжка из зала над люстрой, в столовой, в кабинете и других помещениях, которые в обычное время закрывалась [59].

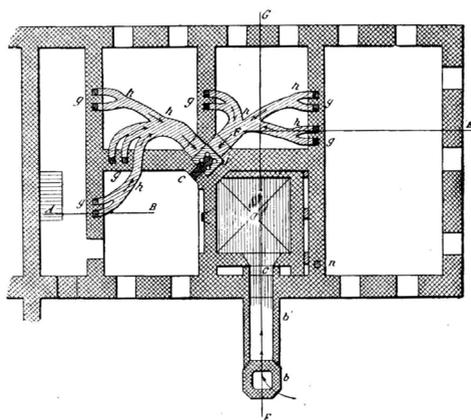


Рис. 44. Устройство вентиляции с термическим побуждением (план подвала)

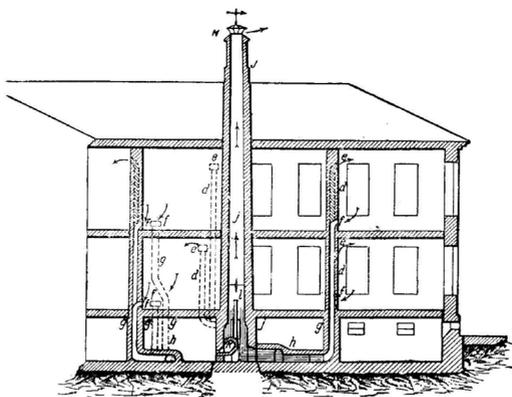


Рис. 45. К рис. 44: разрез по А-В-С-Е-Е

В нескольких жилых и общественных зданиях Петербурга с центральным отоплением, начиная с 1874 г., И. Д. Флавицким была применена система вентиляции, устройство которой показано на рис. 46.

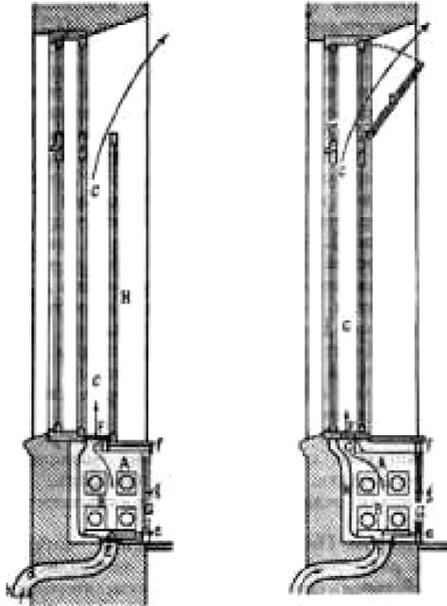


Рис. 46. Устройство вентиляции системы И. Д. Флавицкого

Децентрализованный приток свежего воздуха предлагалось осуществлять непосредственно в отапливаемые помещения у наружной стены, за нагревательным прибором [60]. Преимущества предложенной им системы приточной вентиляции таковы, что новый метод вентиляции помещений получил широкое распространение не только в России, но и за границей. В первую очередь это – чистота и гигиеничность поступающего в помещение воздуха, отсутствие охлаждения от окон, возможность осуществления данной вентиляции при наличии центрального водяного

или парового отопления. Также автор предлагал использовать дополнительное устройство для увлажнения воздуха, а расчет увлажнительных установок производился уже по опытным данным Дальтона [33].

Благодаря усилиям комитета на основе обобщения различных способов вентиляции впервые были установлены нормы воздухообмена на 1 человека в час, некоторые из них приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Первые нормы воздухообмена**

Наименование зданий и помещений	Норма воздухообмена, куб. саж.*	Норма воздухообмена, м <sup>3</sup> /ч
Больничные палаты (в зависимости от рода болезней)	6–12	60–120
Детские ясли воспитательных домов	2	20
Театры и присутственные места	2	20
Туалет (на отхожее место)	8–10	80–100
Ватерклозет (очко)	1	10

\* 1 саж. = 2,16 м; куб. саж. – кубическая сажень.

Комитетом в 1864 г. были определены, с учетом принятых норм в Западной Европе, также допустимые параметры воздуха в помещениях гражданских зданий:

- скорость выпуска воздуха в рабочую зону вентилируемого помещения гражданских зданий определена в 0,9 м/с (3 фут/с) при условии, что температура вводимого воздуха будет отличаться не более чем на 0,5 °R (1 °R = 1,25 °C) от температуры помещения во избежание ощущения «дутья»;
- предельная скорость в устье вытяжного канала определена как 1,5 м/с (5 фут/с);

- температура внутреннего воздуха в жилых помещениях от 14 до 15 °R (т. е. в среднем +18 °С); в госпиталях в зависимости от рода болезней в среднем 14–15 °R, а в отдельных случаях даже до 30 °R. Для снижения температуры в теплый период года комитет рекомендовал в зданиях, оборудованных системой центрального отопления, пропускать по отопительным трубопроводам холодную воду;

- относительная влажность в жилых помещениях – в пределах 50–60 %, а в госпиталях в случае необходимости должны быть предусмотрены меры для снижения до 30 %.

Флавицкий [35] доказал, что требуемая нормами влажность в пределах 50–60 % может быть причиной плохого самочувствия человека и что влажность воздуха должна быть тем меньше, чем выше температура воздуха в помещении, однако только через 40 лет после И. Д. Флавицкого американские ученые создали свою теорию об эффективной температуре.

Результаты исследований использовались не только в практической деятельности, но и в обучении. В конце XIX в. появился первый систематический курс лекций С. Б. Лукашевича.

Однако в условиях дореволюционной России каждая проектно-монтажная фирма использовала «свои» системы отопления и вентиляции, не всегда самые целесообразные. Даже принятое на III съезде русских зодчих в 1900 г. постановление, которое рекомендовало на конкурсной основе осуществлять проектирование здания совместно с инженерными коммуникациями при участии соответствующих специалистов, учитывать условия строительства, назначение зданий, не смогло исправить ситуацию с проектированием систем отопления и вентиляции.

Новейшие достижения в области отопления и вентиляции нашли отражение в курсах А. К. Павловского [49] и В. М. Чаплина [50], а также в последующих изданиях этих курсов.

В результате обзора развития систем вентиляции в жилых домах дореволюционного периода можно сделать выводы, что за редким исключением в доходных домах была организована толь-

## *1. Особенности архитектурных и инженерных решений зданий...*

---

ко вытяжная вентиляция из помещений туалетов и кухонь. После революции при переходе к центральным системам отопления демонтировались печи, и дымоходы стали использоваться как каналы вытяжной вентиляции.

## **2. ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ДОХОДНЫХ ДОМОВ ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ**

Известно, что старые здания многократно подвергались реконструкции, проводилась разборка внутренних стен, перепланировка помещений. Менялись габариты дверных и оконных проемов. Во многих доходных домах, расположенных в центральном районе города или представляющих историческую, научную или художественную культурную ценность, работы по реконструкции практически завершены [29].

### **2.1. Анализ состояния ограждающих конструкций зданий дореволюционной постройки**

Исследованию проблем, возникающих при реконструкции и модернизации исторических зданий, посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных авторов, в частности [61–74], в том числе и исторических зданий Санкт-Петербурга [67, 72]. Во многих европейских странах, включая Россию, существенно увеличились требования к теплоизоляции зданий, учитывая современную тенденцию снижения энергопотребления. Однако для исторических зданий, представляющих культурную и архитектурную ценность, стремление обеспечить энергоэффективность может привести к потере уникальности не только отдельных зданий [67], но и исторических районов городов.

Своеобразный архитектурный облик городов во многом определяют не только уникальные, но и жилые здания. Как отмечено в работе [74], жилые дома средневековой постройки составляют значительную долю французского строительного фонда и считаются ценным культурным наследием.

Особенностью исторических зданий является использование проницаемых строительных материалов, процесс тепломассобме-

на в которых при воздействии влаги и теплоты существенно отличается от соответствующих процессов в современных зданиях. Исторические здания с течением времени неизбежно повреждаются и изнашиваются, так что они становятся холодными, влажными или сухими. Большая часть этих зданий будет постепенно подвергаться реконструкции с использованием таких материалов, как твердые цементные растворы и штукатурки, пластиковые краски, синтетические гидроизоляционные покрытия и т. д. Эти материалы уменьшают воздухопроницаемость здания и создают негативные условия для функционирования исторических зданий.

Традиционная фенестрация (остекление, остекляемые поверхности стен, размещение окон по фасаду здания, расположение или распределение окон в здании) и ее детализация (пропорции и детали оконных проемов и рам, глубина, до которой оконные рамы утоплены в стену) существенно влияют на внешний облик фасада. Замена традиционных окон на современные окна с двойным остеклением из ПВХ (поливинилхлорида) может сильно повредить особому характеру и внешнему виду здания. В большинстве случаев они не обеспечивают адекватного визуального соответствия исходным рисункам из-за толщины полосы остекления, необходимой для размещения полости остекления. Невозможно воспроизвести большинство оригинальных стеклопакетов в двойном остеклении даже с самыми тонкими стеклами. Старое стекло представляет интерес, потому что у него есть блеск, которого нет у современных плоских листов с их однородными отражениями. Поэтому там, где возможно, окна после ремонта продолжают использоваться.

В Великобритании развивают традицию изготовления различных оконных конструкций и материалов для реконструкции зданий разных периодов истории [81]. Большинство исторических окон имеет деревянный каркас. Столярные изделия из дуба (фиксированные или в створках) преобладали до конца XVII в., затем стала использоваться хвойная древесина из скандинавских стран и стран Балтии. Эта высококачественная и долговечная древесина продолжала широко использоваться до начала XX в. Позже начали использоваться другие виды древесины, которые нуждались

в химических консервантах для обеспечения некоторой степени долговечности. Поэтому историческая древесина не может считаться возобновляемым ресурсом.

Железные рамы использовались в Средневековье, и к XVI в. в светских домах стали появляться стеклянные окна с металлическим каркасом. К середине XVIII столетия были изготовлены металлические литые окна, и даже в деревянных рамах были установлены медные каркасы, обычно из дуба. Цельнометаллические оконные рамы и створки были введены в эпоху Регентства в разных типах зданий. Все эти окна важны исторически и сохраняются при реконструкции. За последнее время возросло понимание их ценности. Для улучшения состояния старых окон и дверей стали использовать материалы, максимально приближенные к оригиналам. Для защиты старых оконных конструкций используют плотный фитинг, включающий трубки из силиконовой резины, полипропиленовые и нейлоновые ворсовые щетки и т. п. Для стальных и деревянных створок в зазор между окном и рамой впрыскивают силиконовый резиновый герметик. Такая реконструкция снижает до 90 % теплопотери, но и воздухообмен с 2,5–3,0 ч<sup>-1</sup> до 0,7 ч<sup>-1</sup>.

При реконструкции исторических зданий в Западной Европе используют ставни и так называемое вторичное остекление, которое улучшает защиту от инфильтрации и шума. Выполняется такое остекление с отделениями в застекленных панелях, скрытых позади встречных рельсов или решеток остекления. Тем не менее, не все окна подходят для вторичного остекления, например, из-за узости или формы внутреннего подоконника. Использование внешних и внутренних жалюзи существенно снижает потери теплоты в ночное время и в неиспользуемых помещениях, а также уменьшает количество поступающей теплоты солнечной радиации в теплый период года.

Старые здания часто имеют значительную инфильтрацию воздуха не только через окна, но и через стены, двери и даже полы.

Большинство наружных дверей в исторических зданиях было сделано из дерева, многие из них были в деревянных ра-

мах. Оригинальные двери, представляющие исторический интерес, в Западной Европе стараются сохранить, дополняя при необходимости внутренней дверью.

Изменения размеров могут быть также неприемлемыми в окнах и дверных проемах, а также в местах, где сохранились такие оригинальные детали поверхности, как дадо (dado – нижняя часть стены комнаты, когда она украшена другим цветом), карнизы или плинтусы.

Внешний вид пола также может быть отличительной чертой исторического здания. В Европе существует правило, что полы из камня, кирпича, раннего бетона, штукатурки или известкового пепла не следует поднимать из-за неизбежного ущерба: изношенный, неровный вид также часто ценится и не может быть полностью восстановлен. Если же полы могут быть заменены, то в этом случае их реконструируют с использованием в том числе тепловой изоляции для снижения потерь теплоты.

При замене половых досок также учитывают необходимость восстановления не только тепловой защиты, но и существующих звукоизоляции или противопожарной защиты между балками. Особое внимание уделяют сохранению проветривания пола. Обычно предполагается, что это перекрестная вентиляция между отверстиями под полом на противоположных сторонах здания. Тем не менее исследования показали [65], что воздушный поток очень неустойчив и, кроме того, может вносить избыточную влагу. Использование современной изоляции или напольных покрытий может препятствовать этому потоку воздуха, в результате повысится уровень влажности как под полом, так и в здании.

Крыша исторического здания может быть одной из наиболее ярких его особенностей.

Проблемы и решения, как правило, варьируются в зависимости от типа крыши: скатной или плоской, с вентилируемыми крышными пространствами или без них. Для традиционных крыш с «холодными» пространствами, вентилируемыми наружным воздухом, часто оказывается достаточной изоляция пола чердака традиционным способом с использованием различных материалов.

Это способствует уменьшению поступления внутреннего воздуха из помещений, в том числе через отверстия вокруг труб, воздуховодов и кабельных трасс, особенно в местах с высокой влажностью. Дополнительные проблемы создают тепловые мосты, которые могут возникать в зазорах в изоляции и в местах соединения с дымоходами и внешними стенами. Однако в холодный период года дополнительная изоляция может увеличить конденсацию влаги. Некоторые исследователи [65] предлагают устройство дополнительной системы вентиляции на чердаке, но эффективность этого энергосберегающего мероприятия зависит от конструкций чердака и особенно высоты помещения. В этом случае предлагается исследовать взаимное влияние изоляции и вентиляции на внутреннюю среду этой части здания [65]. При устройстве новых слуховых окон или фонарей необходимо поддерживать «сквозное» проветривание.

При наличии мансардного этажа с утеплением на уровне рафтера в работе [65] рекомендуется устройство вентиляционного канала размером 50 мм под отделкой крыши, изоляцией, пароизоляционным слоем и внутренней облицовкой.

Механизм периодического сезонного поглощения пиломатериалами и другими пористыми материалами влаги из нижних помещений в холодный период года и высушивания их в пространстве чердака в теплый позволил некоторым металлическим крышам и деревянным конструкциям существовать веками. Интенсификация проветривания и добавочная изоляция в совокупности с повышением уровня влажности в здании могут негативно повлиять на состояние конструкций в этой части здания, сокращая срок службы не только деревянных конструкций, но и кровельных покрытий, вызывая преждевременную коррозию на внутренней стороне кровли.

Как описано в Консультативной записке английского наследия по этому вопросу (English Heritage and LSA, 1997) на основании исследований 1970–1980 гг. [65], при использовании сэндвич-панелей воздействие внешних и внутренних факторов может вызывать коррозию и разрушение.

Использование паропроницаемых материалов является наиболее приемлемым способом, который позволяет спроектировать «дышащую» конструкцию. Однако даже они уменьшают движение воздуха, и могут потребоваться дополнительные средства проветривания.

Утверждается, что пены улучшают изоляцию и гидроизоляцию, предотвращают скольжение плиток и образование конденсата [73]. Однако в этом случае невозможно утилизировать плитки во время следующего ремонта кровли. Пены герметизируют плиточные рейки и верхние части стропил, что может привести к гниению и преждевременной деградации конструкций. Кроме того, в этом случае существенно ограничивается поступление воздуха.

Основным критерием при выполнении ремонта является «аналогичность», что означает соблюдение первоначального сочетания материалов [65]. При выборе возможности и способа изоляции рекомендуется также исследовать внутренние стены во избежание безвозвратной потери каких-то старинных интересных элементов, таких как ранние штукатурки и схемы окраски, деревянные панели, гипсовая лепнина и т. д. Авторы отмечают, что в большинстве теплотехнических расчетов при выборе способа изоляции стен для проницаемой конструкции переоценены фактические потери теплоты.

В исторических зданиях представлен широкий спектр строительных материалов, начиная от толстых каменных или земляных стен и заканчивая зданиями с деревянным каркасом. Внешний вид наружных стен, как правило, является одним из наиболее важных аспектов исторического здания, в то время как материалы показывают его уникальный местный характер. Большинство исторических зданий, в том числе доходные дома, имеют стены, построенные из пористых материалов, с внутренней отделкой, такой как известковая штукатурка. Эта пористость помогла сохранить многие здания в хорошем состоянии. При этом для сохранения архитектурной ценности внешнего фасада единственным путем снижения потребления энергии и повышения их теплового комфорта

является изоляция. Это часто улучшает его долговечность и внутреннюю среду здания.

Внутренняя изоляция может, с одной стороны, стабилизировать уровень влажности в помещениях и часто предотвращать образование конденсата на поверхности изоляции, а с другой – оказывать негативное влияние на гидротермальные характеристики стены, что приводит к снижению способности к сушке внутренних слоев с возможной внутренней конденсацией и ростом плесени.

Современные изоляционные и отделочные материалы, предназначенные для создания барьеров для нежелательной влаги или водяного пара, могут препятствовать самим процессам эффективного влагообмена, которые помогали исторической стене оставаться в хорошем состоянии десятилетия и даже века.

Многие изоляционные материалы теряют свои изоляционные свойства во влажном состоянии, поэтому влага из влажных стен или внутренняя конденсация могут сделать их практически бесполезными. При использовании внутренней изоляции возможна ситуация, когда на ее поверхности температура может оказаться ниже точки росы, при которой пары внутренней влаги будут конденсироваться. Таким образом, изоляция становится неэффективной и может вызывать гниение и разрушение как в старой, так и в новой конструкции. Эффективность и долговечность пароизоляции тоже в некоторых случаях вызывает сомнение вследствие нарушения герметичности. Вблизи оконных и дверных проемов толщина внутренней изоляции обычно уменьшается, что приводит к возможному образованию «мостиков холода» и конденсации водяных паров. К этому же результату приводит использование крепежных элементов.

Внутренняя изоляция приводит к понижению температуры конструкции и, соответственно, к повышению влажности в течение более длительного периода времени. Увеличивается опасность гниения и разрушения в пределах толщины стенок и повреждения от замерзания на поверхности.

В зарубежной литературе используется термин *traditional buildings*, под которым понимают способность строительной кон-

струкции «дышать», чтобы обеспечить необходимый влагообмен и повысить жизненный потенциал здания. Как отмечено в материалах SEMINAR Historical Architecture & Energy Efficiency [64], очень важно при использовании мероприятий для повышения энергоэффективности конструкций исторических зданий учитывать традиционные технологии и характерные особенности строительного материала, в противном случае может быть причинен реальный ущерб. Попытки из лучших побуждений не допускать попадания влаги в эти здания с использованием современных методов, как правило, приводят к нежелательному эффекту: они предотвращают повторное испарение и тем самым вызывают или ускоряют разрушение материалов в результате воздействия влаги.

Из-за всех этих проблем жизненно важно рассчитать риск конденсации до установки внутренней изоляции. Но полученные расчеты могут основываться на очень приблизительных оценках эффективности традиционных материалов. Также необходимо внимательно рассматривать возможные последствия изменений потоков влаги и теплоты через конструкцию.

Наружная изоляция частично поглощает дождевую воду, позволяя ей стекать по поверхности и затем испаряться. К тому же внешняя изоляция увеличивает толщину стен, что приводит к необходимости разработки эффективных деталей для соединения всех окон и дверных проемов с прилегающей конструкцией и т. д. Так же как и при внутренней изоляции, рекомендуется проводить оценку риска конденсации перед установкой внешней изоляции, хотя обычно можно ожидать, что она даст более удовлетворительные результаты.

Большинство зданий жилого фонда России характеризуется низкой энергоэффективностью и высокой потребностью в капитальном ремонте, которая в перспективе будет сохраняться [75]. Состояние жилых зданий дореволюционной постройки Санкт-Петербурга в настоящее время характеризуется значительным физическим износом строительных конструкций (рис. 47), здания с износом выше 30 % составляют более 70 %.



Рис. 47. Состояние фасадов зданий

Старые здания многократно подвергались реконструкции. Кроме того, в результате длительной эксплуатации выявляются разрушения кирпичной кладки, следы увлажнения стен, трещины под оконными

проемами, что приводит к увеличению коэффициентов теплопередачи конструкций сверх нормативных величин, что подробно рассмотрено в работе [76]. Для выявления состояния строительных конструкций было выполнено тепловизионное обследование (см. рис. 47) доходных домов при разности температур внутри и снаружи здания не менее 10 °С [77, 78]. Результаты обследования в виде термограмм позволяют обнаружить места понижения тепловой защиты помещений, нарушения теплоизоляции кровли, увлажнения материала стен. На рис. 48 приведены термограммы внутренних поверхностей наружных ограждений помещений [75], выполненные тепловизором TVS-200 при температуре наружного воздуха (минус 14 °С – минус 18 °С).

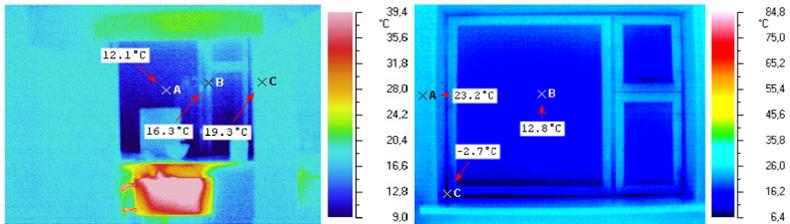


Рис. 48. Термограммы внутренних поверхностей наружных ограждений помещений

При отсутствии плановой модернизации домов они продолжают «отапливать улицу». Энергетическая эффективность прошедшего капитальный ремонт многоквартирного дома, согласно [79], оценивается в заключении органа государственного строительного надзора.

## 2.2. Исследование теплотехнических характеристик ограждающих конструкций доходных домов

Для определения тепловых нагрузок на отопление здания необходимо выполнить расчет потерь теплоты на основании тепло-

технических коэффициентов материалов ограждающих конструкций. Данные для современных материалов, определяемые путем натуральных и лабораторных испытаний [80–82], приводятся в нормативных документах [83, 84] или в технической документации производителей. Для ограждающих конструкций исторических зданий, в том числе и доходных домов, отсутствует информация о теплотехнических характеристиках материалов ограждающих конструкций.

Отсутствие теплофизических данных по строительным материалам доходных домов приводит к тому, что, например, по результатам анализа теплотехнических расчетов различных проектных фирм выяснилось, что в проектах принятые значения теплопроводности кирпича принимаются в диапазоне от 0,54 до 0,96 Вт/(м·К) [85]. При этом разница между значениями рассчитанных теплопотерь может составлять значительную величину. На рис. 49 приведены данные для одного и того же объекта при разных принятых значениях теплопроводности кирпичной кладки, разница превышает 33 % в трансмиссионных тепловых потерях наружных стен и, соответственно, более 13 % в тепловых потерях для здания.

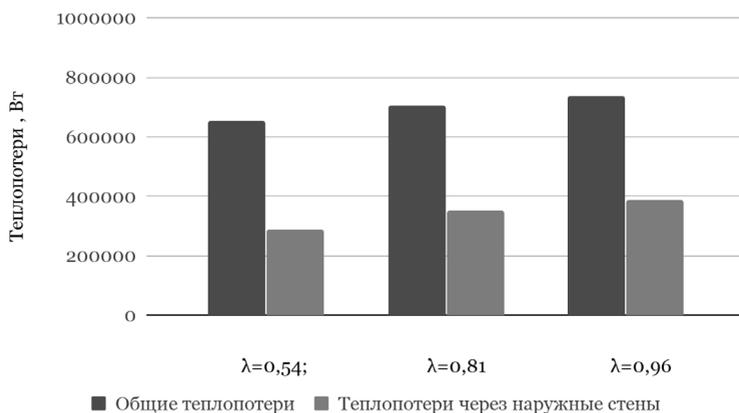


Рис. 49. Общие теплопотери здания и теплопотери через наружные стены здания на Кирочной ул., 8

Кроме того, в результате длительной эксплуатации выявляются разрушения кирпичной кладки, переувлажнение стен, трещины под оконными проемами, что приводит к увеличению коэффициентов теплопередачи конструкций, что подробно рассмотрено в работе [85]. При этом по результатам проведенных работ [1] кирпичные дома, построенные в XVII–XVIII вв., обладают большим запасом прочности и будут эксплуатироваться на протяжении многих лет.

Для экспериментальных исследований теплопроводности кирпичей, изготовленных в начале XX в., использованы образцы из доходного дома, расположенного на Суворовском пр., 40. Здание было построено в 1908 г.

По клейму на образцах их можно отнести к производству завода «Громов и К<sup>о</sup>» [1]. Размеры образцов имеют небольшие расхождения по длине граней и в среднем составляют 255×125×70 мм (рис. 50).



Рис. 50. Лицевая сторона образца испытываемого кирпича

Для проведения испытания из кирпичей были сделаны три образца размерами 250×250×50 мм. Каждый образец был получен путем соединения трех экземпляров из обрезанных до нужных размеров кирпичей (рис. 51).

Поверхности всех экземпляров были отшлифованы для создания ровной поверхности. Стыки поверхностей в местах соединения были обработаны раствором алебастра для предохранения воздухопроницаемости через них [85].



Рис. 51. Испытываемый образец

После подготовки образцы прошли проверку на отклонения от плоскостности и отшлифованы. Перед испытанием образцы были подвергнуты сушке в сушильном шкафу. Испытания проведены в испытательно-сертификационном центре «Высота», протокол испытаний № 5/18. Для исследования образцов использована сертифицированная установка ПИТ-2,1 (рис. 52). Параметры образцов после обработки представлены в табл. 4.

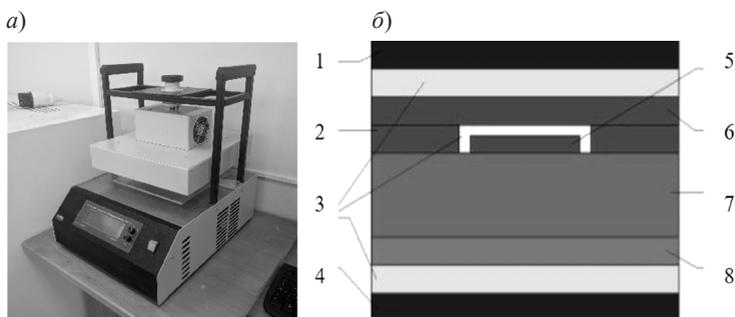


Рис. 52. Установка ПИТ-2,1 (а) и схема (б) основных ее компонентов:  
1 – верхний холодильник; 2 – охранное кольцо; 3 – теплоизолятор;  
4 – нижний холодильник; 5 – измерительный нагреватель;  
6 – охранный нагреватель; 7 – образец; 8 – нижний нагреватель

2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

Таблица 4

**Параметры испытываемых образцов кирпича**

Параметр	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Размеры, мм	250×250×50	250×50×50	250×250×50
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1969	1852	2048

Нормативные значения теплотехнических характеристик строительных материалов приведены в табл. 5, согласно [83].

Таблица 5

**Нормативные параметры строительных материалов**

Материал		Сухое состояние		Условия эксплуатации А		Условия эксплуатации Б	
		Влажность, %	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Влажность, %	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Влажность, %	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Раствор	Раствор цементно-песчаный	0	0,58	2	0,76	4	0,93
	Раствор известково-песчаный	0	0,47	2	0,7	4	0,81
Кирпичная кладка из сплошного кирпича	На цементно-песчаном растворе	0	0,56	1	0,7	2	0,81

Сущность метода определения теплопроводности в ПИТ-2,1 заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через образец определенной толщины. Измеряются мощности, необходимые для создания этого теплового потока и температуры лицевых граней. При этом процесс теплопередачи, согласно [82], характеризуется созданием постоянного температурного поля, а в пространстве его изменение происходит только в направлении одной оси. То есть процесс является одномерным (линейным), нестационарным:

$$t = f_1(x) \text{ при условиях: } \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \text{ и } \frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{\partial t}{\partial y} = 0. \quad (2)$$

Как известно, стационарное температурное поле является наиболее простым случаем теплопередачи. При отсутствии теплового равновесия в теле возникает тепловой поток. Количество теплоты, проходящее через элемент изотермической поверхности  $dF$  за промежуток времени  $d\tau$ , определяется по формуле

$$dQ = -\lambda \cdot \text{grad}t \cdot dF \cdot d\tau. \quad (3)$$

Плотность теплового потока

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}t. \quad (4)$$

Принимая во внимание однородность и изотропность испытываемого образца, плотность теплового потока находится из уравнения

$$q = -\lambda_{\text{eff}} \frac{T_{1u} - T_{2u}}{d_u}. \quad (5)$$

В данном случае плотность теплового потока определяется путем измерения потребляемой электрической мощности, тогда значения величин находятся в следующей последовательности.

## 2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

Определяется разность температур лицевых граней  $\Delta T_u$  по формуле

$$\Delta T_u = T_{1u} - T_{2u}. \quad (6)$$

Термическое сопротивление образца находится по формуле

$$R_u = \frac{A \cdot \Delta T_u}{\Phi} - 2R_k. \quad (7)$$

Эффективная теплопроводность материала испытываемого образца определяется по формуле

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{A \Delta T_u}{\Phi} - 2R_k}. \quad (8)$$

Измерение показателей температур граней ведется непрерывно и выводится в графическом виде на дисплее установки до установления в образце стационарного процесса теплопередачи. Результаты испытания теплопроводности образцов приведены в табл. 6.

Таблица 6

### Результаты испытаний

№ образца	Значение теплопроводности, Вт/(м·К)
1	0,581
2	0,573
3	0,562

Среднее значение теплопроводности кирпича по результатам испытаний равна 0,57 Вт/(м·К), при этом теплопроводность образцов из разных кирпичей одного завода-производителя достаточно близка. Разность между минимальным и максимальным значениями составляет 3 %.

Анализ результатов исследований выявил достаточно близкие значения теплотехнических характеристик керамического кирпича (табл. 7) с рекомендуемыми характеристиками для современного керамического кирпича [83, 84], несмотря на условия длительной эксплуатации.

Таблица 7

**Сравнение теплопроводности керамического кирпича**

Наименование параметра	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Кирпич керамический в сухом состоянии	1956	0,57
Кирпич керамический в сухом состоянии (по данным нормативного документа)	1800	0,55

Необходимость проведения обследования здания для выявления теплотехнических характеристик ограждающих конструкций обусловлена необходимостью сократить сверхнормативное потребление теплоты. Для определения фактических теплотехнических характеристик конструкций здания необходимо проведение комплексного обследования, которое заключается в проведении контактных изменений и тепловизионной съемки [77, 80, 88].

Определение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций позволяет количественно оценить теплотехнические качества ограждающих конструкций зданий и сооружений и их соответствие нормативным требованиям, установить реальные потери теплоты через наружные ограждающие конструкции, проверить расчетные и конструктивные решения.

В лабораторных условиях сопротивление теплопередаче определяют для образцов, которыми являются целые элементы ограждающих конструкций заводского изготовления или их фрагменты. При этом размеры образца должны быть не менее 1000×1500 мм, что не позволяет применить данный метод для

определения характеристик конструкций эксплуатируемых зданий. В натуральных условиях испытанию подвергаются эксплуатируемые конструкции помещений здания.

Выбираются участки в качестве реперных зон, имеющие равномерную температуру поверхности по результатам тепловизионной съемки. Далее в этих зонах располагают первичные преобразователи температур и тепловых потоков не менее чем в двух характерных сечениях ограждающей конструкции. Для определения приведенного сопротивления теплопередаче дополнительно располагают термодатчики в местах с теплопроводными включениями, в углах, стыках. Преобразователи тепловых потоков закрепляют на внутренней и наружной поверхностях ограждения, не менее двух на каждой поверхности. При этом выбираются не менее двух однотипных ограждающих конструкций. С помощью системы отопления в помещениях:

- поддерживаются постоянные, одинаковые температурно-влажностные условия;
- ведется непрерывная регистрация температур внутреннего и наружного воздуха, температур поверхностей ограждающих конструкций, плотностей теплового потока и других данных, обозначенных в нормативном документе.

Тепловизионная съемка проводится с целью выявления распределения температур на поверхности ограждающей конструкции и обнаружения их дефектов:

- разрушение материалов конструкций в результате эксплуатации и снижение их сопротивления теплопередаче;
- повышенная инфильтрация воздуха через щели и неплотности;
- нарушение теплоизоляции конструкции.

При проведении тепловизионного обследования данные дефекты являются местными и выявляются при тепловизионной съемке в виде холодных областей.

После определения сопротивления теплопередаче конструкции в реперных зонах на основании полученных значений и распределения температур рассчитываются сопротивления остальных участков конструкций.

Достоинствами метода являются оперативность, наглядность и простота обработки результатов измерений.

Метод включает в себе ряд проблем, что ограничивает его применение:

- проблемы с доступом к точкам изменений. Как правило, требуется проведение съемки конструкций с внутренней стороны наружных стен, что осложнено в многоквартирных жилых домах по причинам закрытости участков стен мебелью и влиянием на результаты работающими отопительными приборами;
- тепловизоры не способны измерять тепловой поток, что приводит к необходимости вычислять его величину в отдельных точках с помощью тепломеров;
- высокие погрешности получения величин по результатам тепловизионного обследования. Основной причиной погрешности является достаточно большая погрешность измерения тепловизоров (до 1 °С) при используемой в расчетах разницы температур стены и воздуха в пределах 1–3 °С;
- сложность обработки результатов тепловизионного обследования.

Испытания проводятся в периоды, когда разность среднесуточных температур наружного и внутреннего воздуха и соответствующий тепловой поток обеспечивают получение результата с погрешностью не более 15 %. Продолжительность измерений зависит от тепловой инерции ограждений, характера изменения температур наружного воздуха.

Однако в результате комплексного обследования появляется возможность получить реальную картину поведения строительных конструкций в условиях эксплуатации и выявить их теплотехнические параметры:

- коэффициент теплотехнической однородности;
- приведенное сопротивление теплопередаче.

Результаты обследования в виде термограмм позволяют обнаружить места понижения тепловой защиты помещений, нарушения теплоизоляции кровли, увлажнения материала стен.

При необходимости уточнения характеристик дефектных участков на них проводят дополнительные измерения.

Причины возникновения дефекта устанавливают путем анализа проектной документации и численным моделированием процесса теплопередачи при реальных (зарегистрированных) температурных условиях. При невозможности это сделать аналитическими средствами необходимо вскрыть исследуемый участок и выполнить измерение теплопроводности и влажности материалов, используемых в конструкции. Установление причины возникновения дефекта позволяет разработать рекомендации по его устранению.

Тепловизионное обследование произведено на одной из стен здания на Московском пр. в феврале 2017 г. с 8:00 по 16:00, средняя температура составляла – 6 °С. Использован компактный тепловизор Seek Thermal Reveal Pro и контактный термометр «ТК-5.04». Тепловизор адаптирован для использования в условиях класса защиты корпуса IP67. Частота 15 Гц; матрица: 320×240; чувствительность < 75 мК. Диапазон температур (минус 40 – плюс 330) °С; дальность 550 м; угол обзора 32°. Погрешность измерения температуры не должна превышать ±0,5 °С. Погрешность измерения плотности теплового потока не должна превышать ±1 Вт/м².

Контактный термометр «ТК-5.04» может быть применен в следующих условиях эксплуатации:

- температура окружающей среды, °С (минус 20 – плюс 50);
- относительная влажность, %, не более 80 при  $T = 35$  °С;
- атмосферное давление, кПа, 86–106.

Для измерения температуры поверхности используется Зонд поверхностный ЗПМ (цена ед. младшего разряда 1 °С, диапазон – минус 40 – плюс 80 °С), тепловая инерция 20 с, абсолютная погрешность ±2 °С.

Одновременно контролировались параметры воздуха в соответствии с методикой, изложенной в [32], с использованием многофункционального прибора Testo 445.

Измерение температуры и плотности тепловых потоков проведено с внутренней и наружной сторон ограждающей конструк-

ции. Измерение температуры наружного и внутреннего воздуха проводится на расстоянии 10 см от поверхности ограждающей конструкции.

Для измерений выбраны участки поверхности, характерные для всей исследуемой ограждающей конструкции. Выбранные на ограждающей конструкции участки для измерений ориентированы на северо-восток, имеют поверхностный слой из одного материала, одинаковой обработки и состояния поверхности, имеют одинаковые условия по лучистому теплообмену и не находятся в непосредственной близости от элементов, которые могут изменить направление и значение тепловых потоков.

Первичные преобразователи (датчики) плотно прижимаются к ограждающей конструкции и закрепляются в этом положении, обеспечивая постоянный контакт с поверхностью исследуемых участков в течение всего периода измерений. При креплении преобразователей между ними и ограждающей конструкцией не допускалось образования воздушных зазоров. Регистрирующие устройства (вторичные преобразователи) располагались на расстоянии 2–5 м от места измерения. Регистрация тепловых потоков, температуры воздуха и поверхности проводилась с интервалом времени, не превышающим 30 мин.

Обработка результатов измерений включает в себя расшифровку информации с регистраторов температуры и тепловых потоков и определение термического сопротивления  $R_T^p$  в реперных зонах, а также получения температурных полей по поверхности [89].

Расчет термического сопротивления в реперных зонах проводится по результатам измерения температуры и плотности теплового потока для каждого  $i$ -го измерения:

$$R_{Ti}^p = \frac{(\tau_{\beta i} - \tau_{Hi})}{q_i}, \quad (9)$$

где  $\tau_{\beta i}$  и  $\tau_{Hi}$  – значения температуры, соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции, °С;

$q_i$  – значение плотности теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>; при расчете использованы результаты измерений теплового потока на внутренней поверхности.

За истинное значение термического сопротивления в реперной точке принимается выборочное среднее значение

$$\overline{R_T^p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{Ti}^p, \quad (10)$$

где  $n$  – число измерений.

Расчет термического сопротивления  $m$ -го участка ограждающей конструкции  $R_T^m$  производится по формуле

$$R_T^m = \overline{R_T^p} \cdot \frac{\tau_{\text{нр}} - t_{\text{н}}}{\tau_{\text{нм}} - t_{\text{н}}}, \quad (11)$$

где  $\tau_{\text{нм}}$  – температура наружной поверхности на участке  $m$ ;  $\tau_{\text{нр}}$  – температура наружной поверхности в реперной зоне;  $t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха;  $\overline{R_T^p}$  – термическое сопротивление реперной зоны.

Для сравнения с нормируемыми [83] или проектными значениями вычисляется сопротивление теплопередаче при расчетных температурных условиях

$$R_0^m = R_T^m + 0,115 + 0,043 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}. \quad (12)$$

Здесь 0,115 и 0,043 – сопротивления теплоотдаче на внутренней и наружной поверхностях соответственно (при расчетных условиях).

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций рассчитывается по формуле

$$R_{\text{пр}} = \frac{\sum_{m=1}^N F_m}{\sum_{m=1}^N \frac{F_m}{R_m}}, \quad (13)$$

где  $F_m$  – площадь участка поверхности с сопротивлением  $R_m$ ;  $N$  – число участков, на которое разбита поверхность ограждающих конструкций здания.

Продолжительность расчетного периода принята кратной 24 ч.

Отбраковка значений  $R_{Ti}^p$  производится при невыполнении условия

$$Gr_i = \frac{\left| \overline{R_{Ti}^p} - R_{Ti}^p \right|}{S} \leq 2, \quad (14)$$

где  $S$  – выборочное стандартное отклонение для результата отдельного измерения, равное

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \overline{R_T^p} - R_{Ti}^p \right)^2}{n-1}}. \quad (15)$$

Отбраковка начинается с члена выборки  $R_{Ti}^p$ , который характеризуется максимальным значением  $Gr_i$ , после этого рассчитываются новые значения  $\overline{R_T^p}$ ,  $S$  и  $Gr_i$ . Процедура отбраковки продолжается до тех пор, пока все значения  $R_{Ti}^p$  не будут удовлетворять условию (11).

Погрешность определения термического сопротивления в реперной зоне вычисляется по формуле

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_{\text{приб}}^2 + \sigma_{\text{мет}}^2}, \quad (16)$$

где  $\sigma_{\text{приб}}$  – приборная погрешность;  $\sigma_{\text{мет}}$  – методическая погрешность.

Если выполняется условие  $\frac{\sigma}{R_T^p} \cdot 100 \% \leq 15 \%$ , то термическое сопротивление реперного участка ограждающей конструкции принимается равным  $R_T^p$ . Термографирование проводилось последовательно по предварительно намеченным участкам с покадровой записью термограмм в компьютер и одновременной фотосъемкой этих участков цифровой фотокамерой.

## 2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

Термографирование поверхности стены по возможности производилось в перпендикулярном направлении к стене с фиксированного расстояния. Возможные отклонения от этого направления не превышали 30°.

На рис. 53 представлен фрагмент обследуемой наружной стены, на рис. 54–57 показаны результаты обработки измерений.

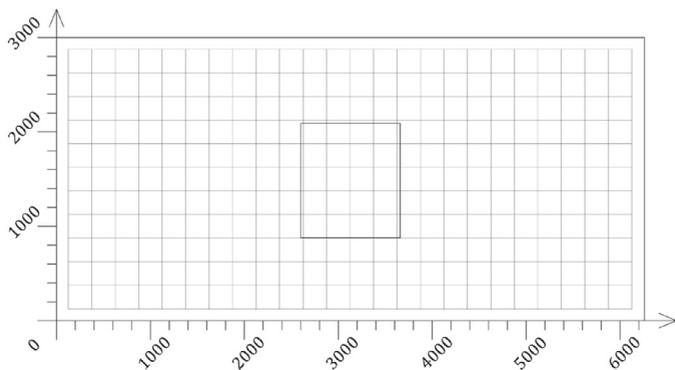


Рис. 53. Фрагмент исследуемого участка стены здания

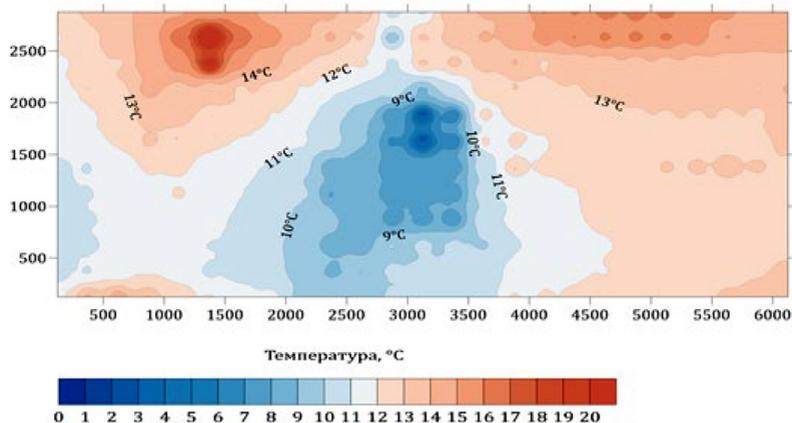


Рис. 54. Распределение температуры на внутренней поверхности стены

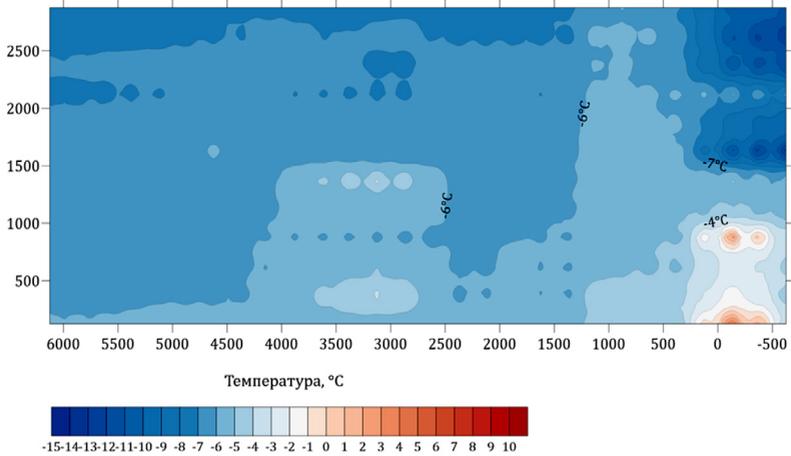


Рис. 55. Распределение температуры на наружной поверхности стены

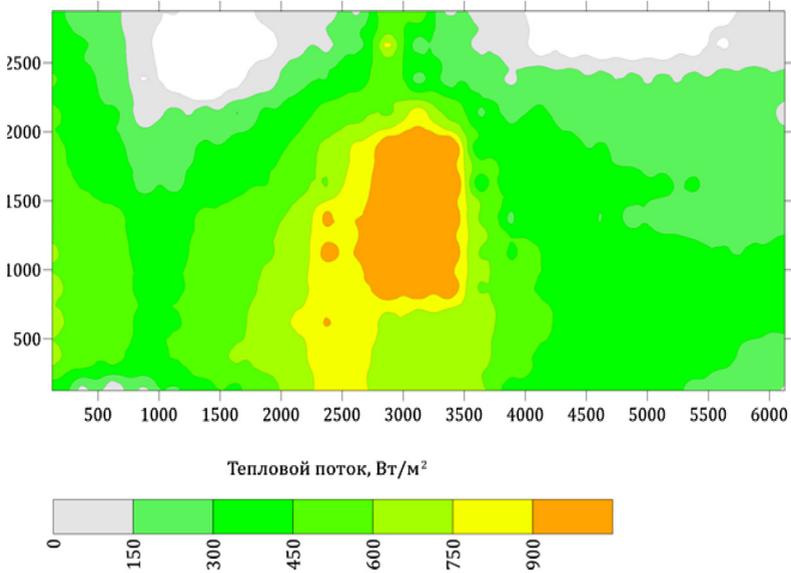


Рис. 56. Распределение тепловых потоков на внутренней поверхности стены

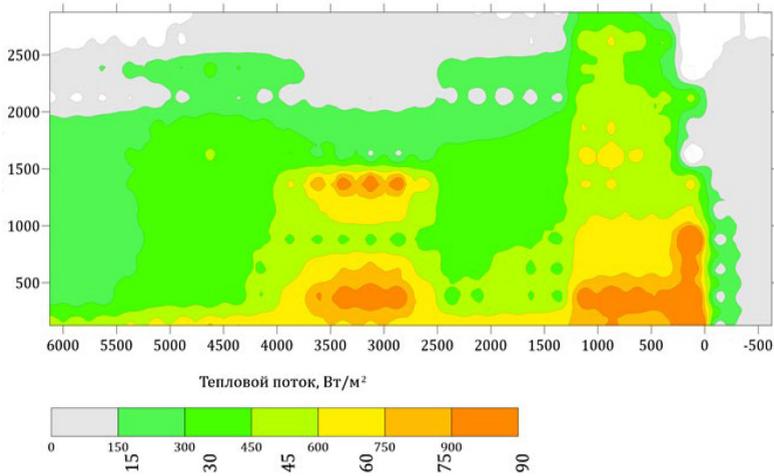


Рис. 57. Распределение тепловых потоков на внутренней поверхности стен

Результаты исследований показывают неравномерность распределения радиационной температуры на внутренней поверхности наружных ограждений жилых помещений [43]. Микроклимат в данных помещениях обеспечивается в холодный период приборами системы отопления и естественной вытяжной вентиляцией.

Одним из мероприятий по энергосбережению является обеспечение нормируемых показателей герметичности ограждающих конструкций – кратности или воздухопроницаемости,  $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ . Несмотря на наличие достаточно жестких требований к результирующей температуре жилых помещений [43, 90], температура внутренней поверхности окон практически всегда обуславливает пониженное значение результирующей температуры. Герметичность ограждающих конструкций на практике достаточно сложно контролировать, но метод инфракрасной диагностики позволяет это сделать.

На основании тепловизионных обследований получены средние значения коэффициента сопротивления теплопередаче для дальнейшего использования в расчетах трансмиссионных потерь.

Известно, что в области тепломассообмена теория теплопроводности является наиболее последовательной и законченной [91]. Однако коэффициенты теплопроводности для любых материалов, в том числе и строительных, определяются экспериментальным путем и приводятся в справочных таблицах. Лабораторные и натурные эксперименты всегда имеют существенные ограничения, влияющие на точность полученных результатов. В данной работе предпринята попытка использовать возможности современных численных методов для исследования процессов теплопроводности в реальных условиях эксплуатации и лабораторного эксперимента. В настоящее время при изучении самых разнообразных физических процессов используется численный эксперимент с использованием различных программных комплексов [92–100], например ANSYS, Star-CCM+, Star-CD и ряда других.

Современные компьютерные технологии позволяют моделировать различные физические процессы. Так, в работе [73] для моделирования гидротермальных характеристик фасадов с различными внутренними слоями изоляции использован программный продукт Delphin. Результаты позволяют прогнозировать состояние строительных конструкций, в том числе образование и распространение плесени, в зависимости от некоторых морфологических характеристик города и гигротермических характеристик конструкций, подбирать наиболее рациональный изоляционный материал. Однако, как отмечено в работе [65], результаты численных расчетов не всегда адекватно коррелируют даже при исследованиях современных зданий в связи с существенными отличиями фактических гидротермальных характеристик от справочных. Кроме того, алгоритмы программ не учитывают в полной мере динамическое взаимодействие потоков теплоты и массы в ограждающих конструкциях, особенно проницаемых материалов с высокой тепловой массой, а также влияние смежных конструкций. Попытка численного исследования нестационарных процессов тепломассообмена предпринята в работе [101]. Установлено, что высокая тепловая масса наружных стен должна взаимодействовать с воз-

духом в помещении, чтобы избежать перегрева и переохлаждения в соответствующих условиях охлаждения и нагревания.

Численному моделированию процессов тепломассообмена в помещениях различного назначения посвящено значительное количество работ, например [93–97, 99, 100]. Проанализировано влияние многих факторов, среди которых можно отметить климатические характеристики, объемно-планировочные особенности объекта, теплотехнические характеристики наружных ограждений, особенности размещения технологического оборудования.

Рассмотрим возможности использования численного эксперимента для исследования теплообмена через утепленные и неутепленные полы на грунте, которые имеют место в зданиях различного назначения, в том числе в жилых зданиях дореволюционной постройки. При проектировании систем отопления для расчета потерь теплоты через пол, учитывая естественную неоднородность температуры грунта, используется метод зонирования, получивший дальнейшее развитие в работах Е. Г. Малявиной и Д. С. Иванова, на основе моделирования нестационарного теплообмена [102], а также в работах зарубежных авторов [103, 104]. Однако эти методы не позволяют получить поля распределения температуры в конструкции пола и окружающего воздуха.

В данной работе представлены данные численного моделирования с использованием программного комплекса Star-CCM+ [99]. В качестве модели турбулентности принята одна из наиболее распространенных моделей турбулентности  $k-\varepsilon$  (модификация Kato Launder). Адекватность применения этой модели при изучении теплообменных процессов для рассматриваемых объектов доказана в работе [96].

В основе математического моделирования турбулентных течений любой среды, как известно, лежит численное решение системы основных дифференциальных уравнений неразрывности, сохранения импульса в форме Навье – Стокса и энергии. Для помещений с источниками теплоты система дифференциальных уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_j}{\partial x_j} &= 0; \\ \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_j u_i}{\partial x_j} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot \left( \nu \cdot \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) + \\ &+ g \cdot \beta \cdot (T - T_0) + \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot (-u'_i \cdot u'_j); \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial u_j T}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot \left( \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \cdot \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot (-T' \cdot u'_j), \end{aligned} \quad (17)$$

где  $t$  – время;  $\rho$  – плотность;  $u_j$  – компоненты вектора осредненной скорости по осям координат;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости;  $(T - T_0)$  – отклонение фактической температуры от фиксированной средней;  $\beta = T^{-1}$  – коэффициент теплового расширения воздуха;  $P, T$  – осредненные давление и температура;  $u_j u_i = \tau_{ij}$ ;  $\tau_{ij}$  – турбулентные напряжения Рейнольдса;  $\rho \cdot c_p \cdot u'_i \cdot T'$  – дополнительный тепловой поток;  $u'_i; u'_j; T'$  – локальные пульсации скорости и температуры потока.

Для дискретизации использован метод конечных объемов на структурированной неортогональной несмещенной сетке, сгущающейся вблизи твердых поверхностей с использованием закона гиперболического тангенса или алгоритма Винокура (Marceel Vinokur). Для аппроксимации членов уравнений системы (17), описывающих конвективный перенос, использована противопоточная схема первого порядка точности. Для коррекции давления применен алгоритм SIMPLEC. Граничные условия заданы следующим образом:

- для скоростей воздуха на твердых стенках условия «прилипания»;
- плотности теплового потока на поверхностях источников теплоты и наружных ограждающих конструкций;
- средняя температура грунта +5 °С.

Для подробного анализа влияния различных факторов (наличие источников теплоты, воздухораспределителей с подачей в направлении пола, открываемых проемов с воздушно-тепловыми завесами) выполнено численное моделирование теплообмена через пол на грунте для помещения размерами  $15 \times 18$  м. Помещение имеет две наружные стены, в одной имеет место проем, над которым установлена воздушно-тепловая завеса (ВТЗ). Рассмотрены два варианта – неутепленный и утепленный пол.

Неутепленный пол состоит из слоя бетона толщиной 150 мм. Утепленный пол – из слоя бетона толщиной 150 мм и теплоизоляционного слоя толщиной 150 мм с коэффициентом теплопроводности  $0,07$  Вт/(м·К). Толщина бетона и теплоизоляционного слоя приняты равными.

На рис. 58 представлены поля температуры в конструкции неутепленного пола в горизонтальных плоскостях на отметке  $-0,001$  м (*а*) и воздуха на отметке  $+0,020$  м (*б*), а также утепленного пола, соответственно, в тех же плоскостях.

Сечения  $X = 0$  м и  $X = 15$  м соответствуют внутренней поверхности наружных стен. Сплошными линиями на рис. 58, *а* и 58, *б* выделены зоны под источниками теплоты, а также под приточными устройствами. Результаты численного моделирования показывают, что на глубине  $0,001$  м в конструкции неутепленного пола имеет место практически равномерное температурное поле. При этом температура в данной плоскости соответствует заданной температуре грунта порядка  $5-6$  °С, только вблизи наружных стен снижается до  $0$  °С. При рассмотрении полей температуры воздуха вблизи внутренней поверхности неутепленного пола, например на уровне  $+0,020$  м, наблюдается неравномерное распределение температуры. Диапазон изменения температуры составляет от  $0$  до  $20$  °С, что связано с особенностями размещения источников теплоты. При использовании утепляющего слоя температура поверхности пола изменяется от  $6$  до  $22$  °С, что практически совпадает с распределением температуры воздуха в непосредственной близости от поверхности пола. На рис. 59 приведены данные

о распределении температуры пола и воздуха по оси  $Y$  в точках с координатами  $X = 3.0$  м,  $Z = 3.0$  м и  $X = 13.0$  м,  $Z = 3.0$  м при наличии неутепленного пола – рис. 59, а, б, и утепленного пола – рис. 59, в, г.

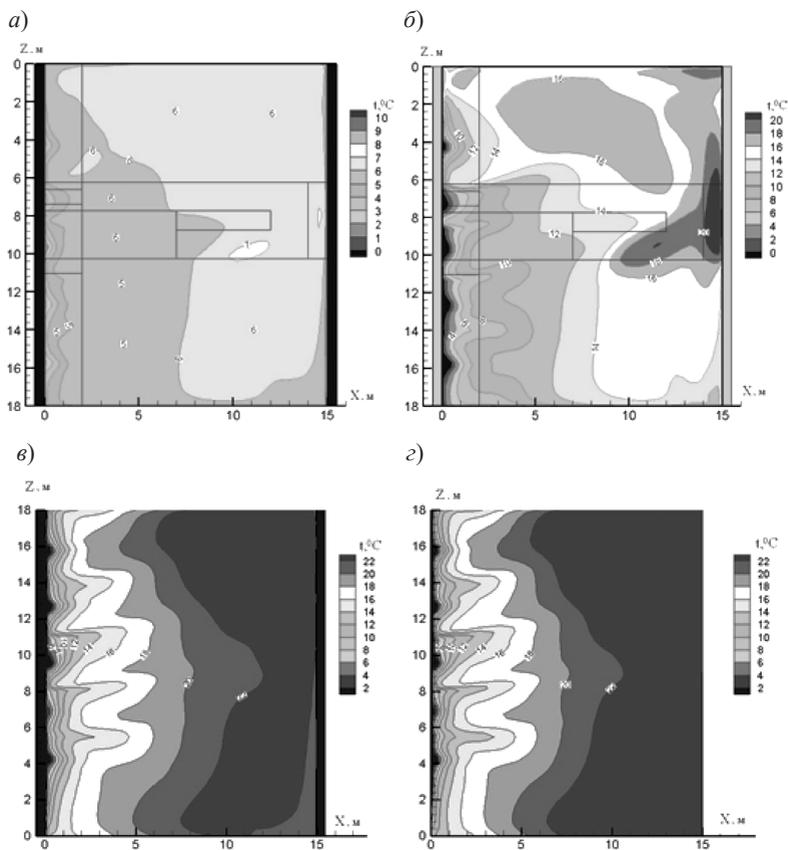


Рис. 58. Распределение температуры в конструкции неутепленного пола на отметке  $-0.001$  м (а); воздуха на отметке  $+0.020$  м (б); утепленного пола на отметке  $-0.001$  м (в); воздуха на отметке  $+0.020$  м (г)

2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

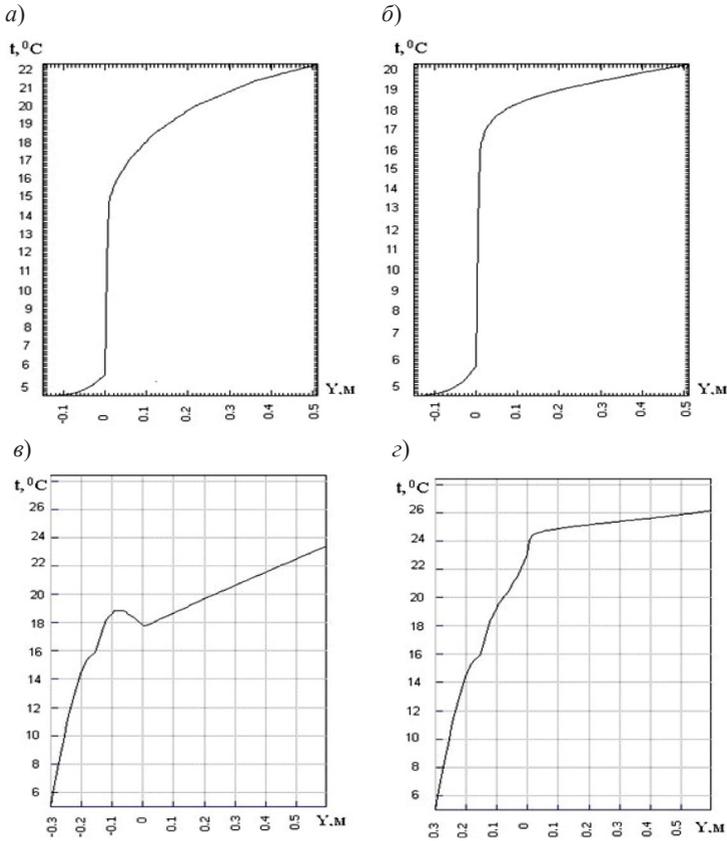


Рис. 59. Распределение температуры для неутепленного пола в точке с координатами:  $X = 3.0 \text{ м}$ ,  $Z = 3.0 \text{ м}$  (а);  $X = 13.0 \text{ м}$ ,  $Z = 3.0 \text{ м}$  (б); и утепленного пола в точке с координатами  $X = 3.0 \text{ м}$ ,  $Z = 3.0 \text{ м}$  (в);  $X = 13.0 \text{ м}$ ,  $Z = 3.0 \text{ м}$  (г)

Результаты исследований для неутепленного пола отражают идентичность изменения температуры, при этом наиболее интенсивное изменение температуры происходит на границе «твердая поверхность – воздух». Причем вблизи наружной стены с координатой  $X = 0$  градиент температуры меньше, чем у противополож-

ной стены. Это можно объяснить тем, что наружная стена с координатой  $X = 0$  имеет более значительные потери теплоты из-за наличия проемов. Наличие нагретых поверхностей обуславливает более значительный градиент температуры в непосредственной близости от неутепленного пола.

Распределение температуры пола и воздуха по оси  $Y$  в точках с координатами  $X = 3.0$  м,  $Z = 3.0$  м; и  $X = 13.0$  м,  $Z = 3.0$  м показывает, что для утепленного пола – рис. 59, в, г – практически отсутствует резкое изменение температуры на границе «твердая поверхность – воздух». В этом случае уменьшается градиент температуры по высоте ограждающей конструкции и прилегающего слоя воздуха.

Обращает на себя внимание практически линейная зависимость изменения температуры воздуха по высоте помещения от уровня пола (отметка 0.000 м) до отметки 0.500 м. На рис. 59, в, на уровне  $-0.100$  м имеет место «излом» кривой изменения температуры по высоте рассматриваемого диапазона. Это связано с влиянием конвективного теплообмена на поверхности пола за счет потоков воздуха через неплотности дверных проемов. Достаточно высокая температура воздуха ( $22\text{--}24$  °С) на отметке 0.500 м вблизи проема формируется за счет работы системы струйной защиты воздушно-тепловой завесы. При этом градиент температуры достигает  $9$  °С/м в точке с координатами  $X = 13.0$  м,  $Z = 3.0$  м.

Учитывая положительный результат численных исследований теплообмена в конструкциях пола, предложено использовать численный метод на базе уравнений (17) для исследования теплотехнических характеристик кирпичных кладок [85].

Ограждающая конструкция здания, состоящая из рядов кирпичей и раствора между ними, представляет собой набор элементов с разными теплотехническими характеристиками. Таким образом, раствор вносит неоднородность в состав конструкции. Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции должно определяться с учетом результатов расчета температурных полей. В данном случае неравномерность температурного поля в объе-

ме элемента определяется не только геометрической спецификой отдельных узлов – мест оконных откосов, стыков с внутренними перегородками, углов и т. д., – но и присутствием включения с иными теплотехническими параметрами – кладочного раствора.

Согласно [83], приведенное сопротивление элемента конструкции определяется с учетом линейных и точечных неоднородностей по формуле

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{R_0^{\text{усл}}} + \sum l_j \chi_j + \sum n_k \chi_k}. \quad (18)$$

По причине сложного геометрического представления схемы кладочного раствора для нахождения сопротивления теплопередачи проведено моделирование с использованием программного комплекса Ansys [85].

Рассмотрен стационарный процесс теплопередачи в кладке, соответствующей реальным размерам наружной стены одного из исследуемых доходных домов. Модель кладки составлена из кирпичей размерами 265×120×65 мм, расположенных с зазором в 10 мм, заполненным раствором. Толщина конструкции составила 665 мм. На рис. 60 представлена геометрическая модель исследуемого объекта, а на рис. 61 – расчетная сетка.

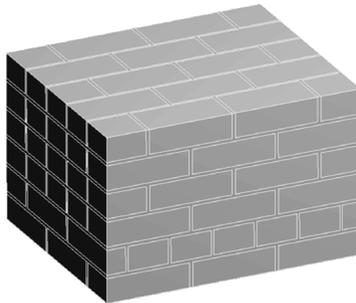


Рис. 60. Геометрическая модель исследуемого объекта

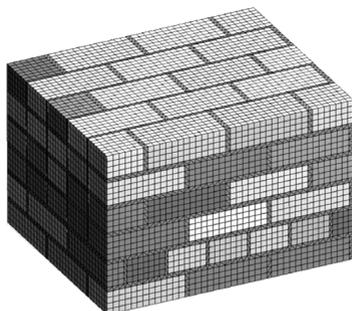


Рис. 61. Расчетная сетка

Граничные условия приведены в табл. 8.

Таблица 8

**Граничные условия**

Наименование параметра	Значение
Теплопроводность кирпича (по результатам испытаний)	0,57 Вт/(м·К)
Теплопроводность раствора	0,47 Вт/(м·К)
Температура воздуха с наружной стороны конструкции	-24 °С
Температура воздуха с внутренней стороны конструкции	+20 °С
Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности конструкции	23 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности конструкции	8,7 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)

На рис. 62 представлены результаты моделирования.

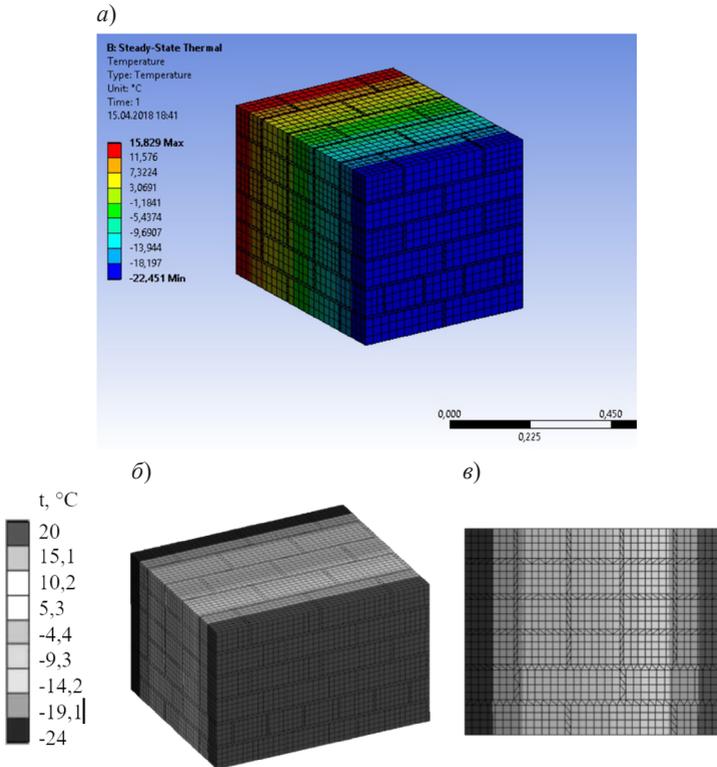


Рис. 62. Распределение температуры:  
*a* – пространственное; *б* – на поверхности; *в* – в сечении стены

Результаты моделирования показывают, что значение среднего теплового потока на поверхности конструкции составляет  $q_T = 31,65 \text{ Вт/м}^2$ .

Как известно, сопротивление теплопередаче стены находится по формуле [83, 84, 105]:

$$R_0^{\text{np}} = r \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{кирп}}}{\lambda_{\text{кирп}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right) = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{q_T}. \quad (19)$$

Тогда

$$R_0^{\text{пр}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{q_{\text{т}}} = 1,39 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт.}$$

Также можно найти значение теплопроводности кирпичной кладки

$$\lambda_{\text{кирп}} = \frac{\delta_{\text{кирп}}}{R_0^{\text{пр}} - \frac{1}{r} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}} = 0,54 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}. \quad (20)$$

Таким образом, подтверждены результаты лабораторных исследований. Теплопроводность исследуемого образца кирпича производства XIX в. близка к значению теплопроводности современного керамического кирпича, а различие в значениях можно объяснить неравномерностью материала (что является результатом несовершенства процесса производства) и разностью состава материала и, соответственно, его плотности.

В начале XIX в., в 1903 г., Н. Н. Георгиевским в журнале Российского физико-химического общества были опубликованы результаты исследований влияния пористости на коэффициент теплопроводности различных материалов, в том числе и кирпича [105]. Дальнейшие исследования были представлены в работах [106–108], где подробно изучено влияние характера и размеров пор, химико-минералогического состава, объемного веса, температуры, влажности на коэффициент теплопроводности строительных материалов с учетом климатических условий [110]. Во многих работах отмечено, что для плотных материалов, таких как клинкерный кирпич, практически отсутствуют крупные поры и сообщающиеся капилляры. И, соответственно, такие материалы отличаются низкой характеристикой капиллярного всасывания [109] и высоким коэффициентом теплопроводности. Некоторые результаты этих исследований приведены на рис. 63 и 64, соотношение объемного веса кирпича и его пористости представлено в табл. 9.

Таблица 9

Соотношение объемного веса и пористости кирпича

Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Пористость, %
1700	37
1800	33
1900	30
2000	26
2100	20

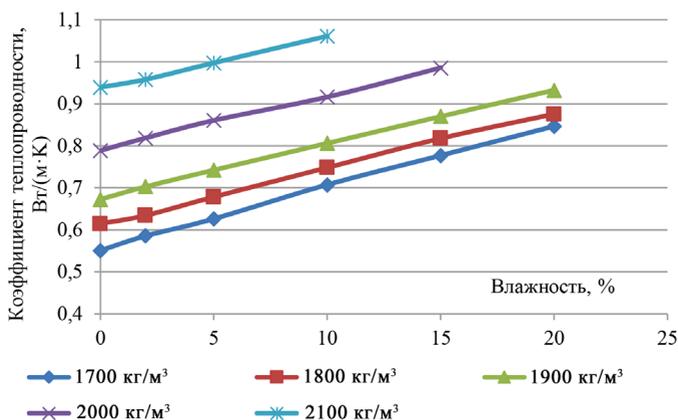


Рис. 63. Зависимость коэффициента теплопроводности кирпича от влажности разного объемного веса при положительной температуре

Как видно на рис. 63, когда рассматриваются колебания положительных температур, то зависимость коэффициента теплопроводности от температурных изменений обычно пренебрегают. Это доказано для пределов температуры от 0 до 60 °С, что имеет место для ограждений зданий [106]. Однако при отрицательных температурах, вызывающих замерзание и перераспределение влаги во

влажных пористых материалах, теплопроводность последних может существенно меняться, как это видно на рис. 65.

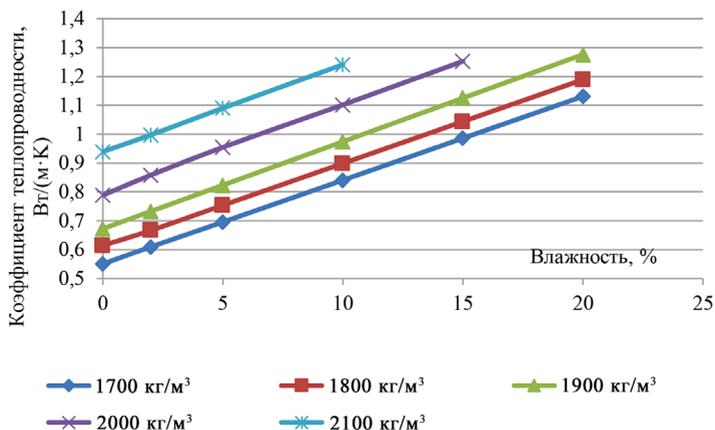


Рис. 64. Зависимость коэффициента теплопроводности кирпича от влажности разного объемного веса при отрицательной температуре

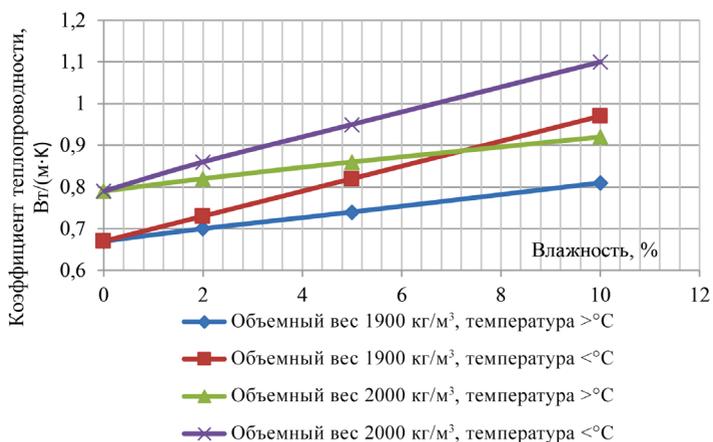


Рис. 65. Соотношение коэффициентов теплопроводности кирпича от влажности в зависимости от температуры

Для оценки влияния условий эксплуатации могут быть применены результаты многолетних исследований В. Н. Богословского [111], В. Г. Гагарина [112], К. Ф. Фокина [106], А. Г. Перехоженцева [113], А. В. Корниенко [114], В. Н. Куприянова [109] и многих других.

В работе [114] выполнен подробный анализ различных подходов к исследованию влажностного режима ограждающих конструкций. Многие исследования посвящены определению зоны возможной конденсации влаги, нормирования влажностного режима ограждающих конструкций зданий.

Первые исследования влажностного режима ограждающих конструкций на основе явления диффузии водяного пара и балансного метода, начиная с 30-х гг. XIX в., были проведены К. Ф. Фокиным. Последователи этого метода использовали его для исследования влажностного режима различных ограждающих конструкций и разных материалов для решения проблем нахождения зоны конденсации и обеспечения пароизоляции конструкции.

Теоретические и экспериментальные работы температурно-влажностного режима ограждающих конструкций обобщены А. Г. Перехоженцевым в работе [113]. Значительное влияние в исследовании влажностного режима ограждающих конструкций оказало использование предложенного В. Н. Богословским потенциала влажности [111, 115], которое впоследствии получило развитие в работах его учеников и последователей, в частности А. Н. Гвоздкова [116].

Как отмечено в работе [113], в современном проектировании теплозащиты зданий используется теория диффузии пара в сорбирующей среде, в которой влажностный режим ограждающих конструкций рассматривается с позиции сорбционной влажности строительных материалов.

Дальнейшие исследования показали, что влажностный режим строительных конструкций определяется не только диффузией водяного пара под действием градиента парциального давления пара, но и капиллярной диффузией воды под действием градиента влажосодержания [106].

Учет совместного переноса пара и жидкой влаги на основе известных коэффициентов паропроницаемости, влагопроводности и изотерм сорбции (десорбции) позволил создать инженерный метод расчета стационарного массообмена в пористых ограждающих конструкциях [114].

В табл. 10 представлено обобщение основных методов расчета влажностного режима ограждающих конструкций.

Таблица 10

**Методы расчета влажностного режима ограждающих конструкций**

Авторы	Описание метода
К. Ф. Фокин, Э. Х. Одельский, Ф. В. Ушков, В. М. Ильинский, А. Г. Перехоженцев, В. В. Козлов [117] и др.	На основе модели диффузии водяного пара за счет разности парциального давления пара по обе стороны ограждения
В. Н. Богословский, В. Г. Гагарин, В. В. Козлов	Инженерные методы расчета на основе потенциала влажности; потенциала $F$ , учитывающего совместный перенос пара и жидкой влаги
К. Ф. Фокин, В. Г. Гагарин	Метод последовательного увлажнения, основанный на уравнении влагопереноса с учетом перемещения незамерзшей влаги при отрицательных температурах, зависимости изотерм сорбции и десорбции строительных материалов от температуры; увлажнения поверхности ограждений косыми дождями; зависимости скорости капиллярного всасывания материалов от влажности и температуры; зависимости коэффициентов паропроницаемости от влажности и коэффициентов влагопроводности от температуры [110]
А. В. Лыков [118], С. Rode [119] и др.	Метод основан на теории влагопроводности в изотермических условиях и термовлагопроводности в неизотермических условиях

Таблица 10

Авторы	Описание метода
А. У. Франчук [120, 121]	Метод совместного расчета нестационарного тепловлагодпереноса на основе зависимости коэффициентов влагодпереноса материалов от влагодсодержания и температуры, на основе [117]
В. И. Лукьянов [122]	Многофакторный метод, учитывающий перенос жидкой и парообразной влаги, влажного воздуха, водорастворимых компонентов, выпадения солей на поверхности материалов, наличия трещин. Применяется для расчетов двумерных влажностных полей
А. Г. Перехоженцев, С. В. Корниенко	Локально-одномерный метод решения двумерных задач нестационарной тепловлагодпроводности
С. В. Корниенко [114]	Метод решения трехмерной задачи совместного нестационарного тепловлагодпереноса на основе относительного изотермического потенциала влажности с использованием симметричной локально-одномерной схемы И. В. Фрязинова
С. В. Корниенко [114]	Метод расчета капиллярного переноса жидкой фазы на основе независимого от материала обобщенного потенциала влажности (относительной влажности воздуха в области сорбционного увлажнения материалов, а в сверхсорбционной области – это некоторая функция распределения пор по радиусам)

Как отмечено в работе [109], исследователи изучали влияние на теплопроводность большого числа факторов – влажности материалов, их пористости, температуры, сорбционного и капиллярного состояния влаги и т. д. При этом в исследованиях изучалось влияние значительно более высоких значений влажности строительных материалов, чем это имеет место в условиях реальной

эксплуатации строительных конструкций, особенно это касается зданий дореволюционной постройки.

Заметно меньше работ связано с рассмотрением влияния низких значений влажности, определяемых сорбцией влаги при инфльтрации и эксфильтрации влажного воздуха, а также диффузией водяного пара через ограждения.

Известно, что коэффициент теплопроводности строительных материалов зависит от их плотности, так как они являются пористыми телами. Существенную роль на коэффициент теплопроводности таких материалов оказывает плотность: чем больше плотность, тем больше коэффициент теплопроводности.

Коэффициент теплопроводности зависит от влажности строительных материалов и увеличивается при ее росте. При этом имеет место линейная зависимость коэффициента теплопроводности от влажности материалов.

Начиная с 1844 г. в строительстве стали использовать бетоны, которые еще большее распространение получили в XX в. Широко используются пористые материалы, такие как бетоны с различными заполнителями, пустотелые кирпичи, изоляционные материалы. В связи с этим современные исследования тепловлажностного режима ограждающих конструкций в основном проводятся для указанных материалов. На рис. 66 представлены результаты исследований коэффициента теплопроводности для газобетона. Как видно из рисунка, общие тенденции влияния факторов, полученные для разных материалов, сохраняются, что может быть использовано для прогнозирования зависимостей теплотехнических характеристик как для новых строительных материалов, так и для строительных конструкций исторических зданий.

На рис. 67 для сравнения приведены данные для кирпича при разных значениях плотности и пенобетона.

Известно, что влага, замкнутая в порах, имеет теплопроводность, в 20 раз превышающую теплопроводность воздуха. В замерзшем состоянии ее теплопроводность увеличивается еще в четыре раза. Кроме того, образовавшийся лед является барьером на

## 2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

пути проходящего из помещения наружу пара, что дополнительно увеличивает влагосодержание материалов и снижает теплопроводность стены.

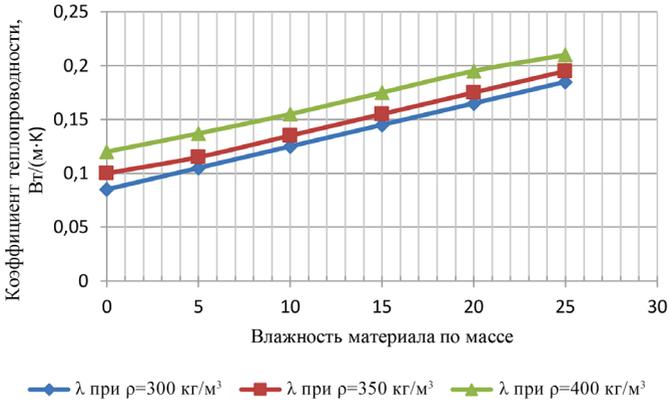


Рис. 66. Зависимость коэффициента теплопроводности газобетона  $\lambda$ , Вт/(м·К), от влажности по массе

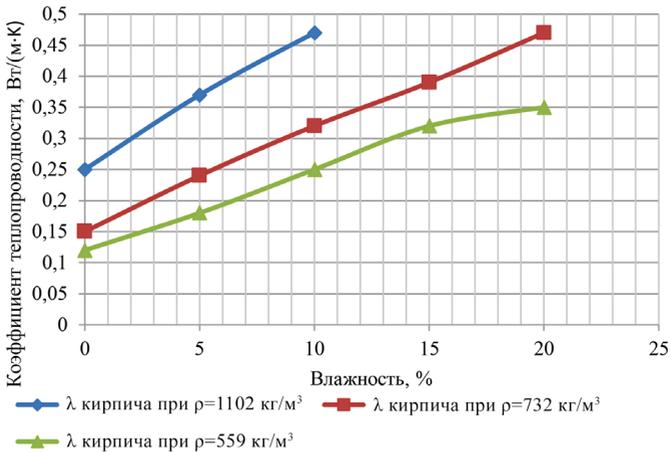


Рис. 67. Зависимость коэффициента теплопроводности кирпича  $\lambda$ , Вт/(м·К), от влажности по объему

На рис. 68 приведены результаты обработки табличных, согласно [83], и экспериментальных данных зависимости коэффициента теплопроводности от плотности кирпича в сухом состоянии.

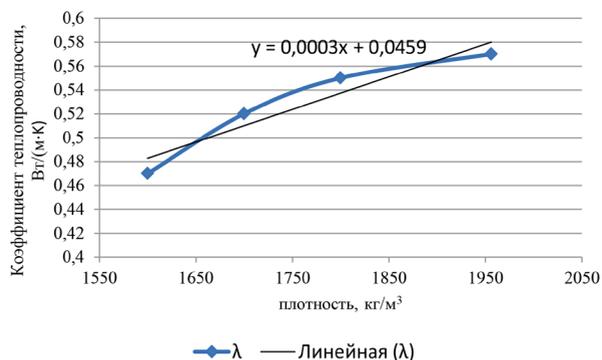


Рис. 68. Зависимость коэффициента теплопроводности кирпича  $\lambda$ , Вт/(м·К), в сухом состоянии от плотности  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>

Получена эмпирическая зависимость, удовлетворительно согласующаяся с данными нормативного документа.

Особенностью керамического кирпича является его полностью сухое состояние после производства. Также он имеет наиболее низкую среди строительных материалов равновесную влажность. При доставке на стройплощадку происходит его увлажнение до 0,1–0,2 %. Дополнительную влажность материал приобретает от кладочного раствора в процессе укладки и в процессе эксплуатации под воздействием влаги. На рис. 69 представлены результаты обработки данных [83] и экспериментальных исследований зависимости коэффициента теплопроводности кирпичной кладки в зависимости от условий эксплуатации.

Как было уже отмечено, с увеличением плотности однородных пористых материалов возрастает их теплопроводность, и наоборот. Однако четкая зависимость между плотностью и теплопроводностью наблюдается лишь у некоторых материалов с влажностью менее 7 %.

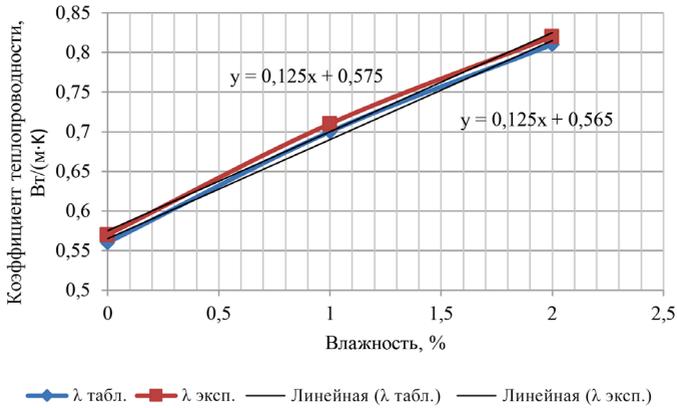


Рис. 69. Зависимость коэффициента теплопроводности кирпича  $\lambda$ , Вт/(м·К), от влажности  $\phi$ , %, по условиям эксплуатации

Учитывая приведенные в [109] эмпирические формулы для зависимости коэффициентов теплопроводности от влажности строительных материалов и по результатам обработки на рис. 66, эту зависимость можно представить в виде

$$\lambda = \lambda_0 + 0,125 \cdot \phi, \quad (21)$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности материала в сухом состоянии, Вт/м·К;  $\phi$  – относительная влажность материала, %.

В условиях эксплуатации материал кирпича и раствора имеет существенно отличающуюся влажность, которая у раствора может иметь большее значение, что также нужно учесть при расчете. У цементно-известково-песчаного раствора сорбционная влажность приближается к 5 %, а у керамического кирпича не превышает 1 %. При этом расход раствора в кирпичной кладке может влиять на ее теплопроводность. Теплопроводность растворов может изменяться в больших пределах в зависимости от их состава и плотности.

Поэтому на основании натуральных и лабораторных исследований значение расчетной влажности кирпичей при условиях эксплуатации Б [83] принято 2 %, что превышает значение сорбционной

влажности керамики, равной 1 %. Для цементно-песчано-известкового раствора нормативное значение влажности при условиях эксплуатации Б [83] принято 4 %, что ниже максимальной сорбционной влажности, равной 6 %.

В условиях эксплуатации кирпичная стена набирает наибольшее количество влаги в период максимального влагонакопления – в марте.

Однако для определения потерь теплоты через ограждающие конструкции принимаются расчетные параметры наиболее холодной пятидневки, которая, как правило, имеет место в январе.

Кроме того, существенную роль играют теплоаккумулирующие свойства материала, которые характеризуют количество аккумулированной теплоты и отношение времени остывания материала (сек) к аккумулированной им теплоте ( $\text{Дж}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ). Чем меньше величина этого отношения, тем быстрее теряет теплоту рассматриваемый материал. На рис. 70 приведены сравнительные показатели, характеризующие теплоаккумулирующие свойства кирпича по сравнению с другими материалами [123].

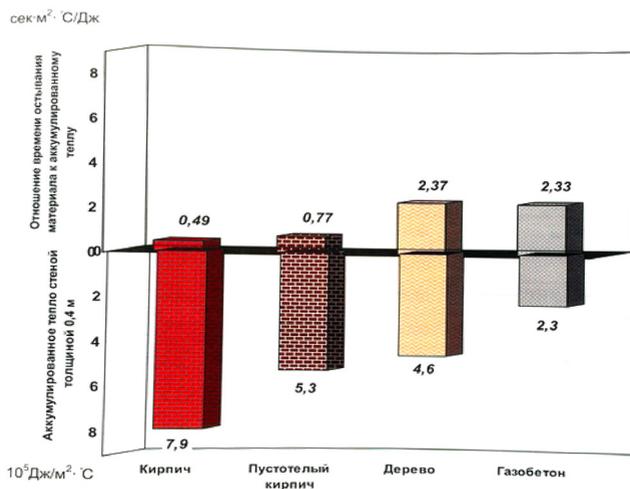


Рис. 70. Анализ теплоаккумулирующих свойств строительных материалов

Учитывая влияние значительного числа факторов, использование численного эксперимента представляется более простым и осуществимым средством нахождения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, поскольку:

- не требует больших материальных затрат;
- не требует больших периодов времени проведения испытаний;
- включает простые методы обработки результатов.

Методика, при наличии исходных данных теплопроводностей, позволяет получать и использовать в расчетах значения термического сопротивления ограждающих конструкций для различных геометрических вариантов кладки.

Современные программы динамического моделирования энергии предоставляют возможность анализировать энергетические характеристики зданий на всех этапах жизненного цикла, начиная от проектирования и заканчивая процессом эксплуатации [124–126]. Однако в случае энергетического моделирования также в первую очередь возникает вопрос о получении достоверной информации о теплотехнических характеристиках строительных конструкций. И о применении совместно с тепловизионным контролем, который, учитывая разработку современных средств измерений, позволяет обнаружить не только тепловые нарушения и утечки воздуха, изменения влажности на внешней поверхности строительных конструкций зданий [125], но и более точно оценить требуемую нагрузку на систему отопления реконструируемых зданий.

Одним из требований СП 50.13330 [83] к теплозащитной оболочке здания является поэлементное требование к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций. Для случаев реконструкции зданий, когда по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивление теплопередаче стен допускается определять по формуле

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{н}}}. \quad (22)$$

### 2.3. Оценка эффективности применения изоляции для повышения...

Для жилых зданий в климатических условиях Санкт-Петербурга  $R_0^{\text{норм}}$ , найденное по данной формуле, составит

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(20 - (24))}{8,7 \cdot 4} = 1,26 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт.}$$

Результаты расчета сопротивления теплопередаче для кирпичных стен толщиной 2,5–3,5 кирпича со слоем штукатурки толщиной 30 мм с обеих сторон представлены в табл. 11.

Таблица 11

#### Сопротивление теплопередаче кирпичных стен различной толщины

Толщина кладки	Сопротивление теплопередаче, (м <sup>2</sup> · °C) / Вт
2,5 кирпича	1,03
3 кирпича	1,19
3,5 кирпича	1,35

При  $R_0^{\text{норм}} = 1,26 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт}$  лишь для этажей с толщиной стен 3,5 кирпича может быть выполнено условие соответствия требуемому значению сопротивления теплопередаче.

Несмотря на то что для зданий дореволюционной постройки допускается не проводить работы по теплоизоляции ограждающих конструкций, все же вопрос об этом может со временем потребовать ответа.

### 2.3. Оценка эффективности применения изоляции для повышения тепловой защиты зданий дореволюционной постройки

Анализ различных вариантов как внешней, так и внутренней изоляции подробно выполнен в работе [72]. При использовании

эффекта экранирования от осадков изоляция и защищаемая стенка смогут «дышать», не накапливая конденсат. Для того чтобы не изменять внешний вид фасада здания, приходится применять внутреннее утепление, которое, в свою очередь, влияет на внутренний объем помещений.

В расчете учтены зоны возможной конденсации водяных паров в ограждающих конструкциях, и в связи с этим фасадный слой тоже изменялся. Рассмотрена многослойная плоская стенка при стационарном режиме и граничных условиях 1-го рода [91] (рис. 71). Также учтены и неоднородные тепловые включения в ограждающие конструкции.

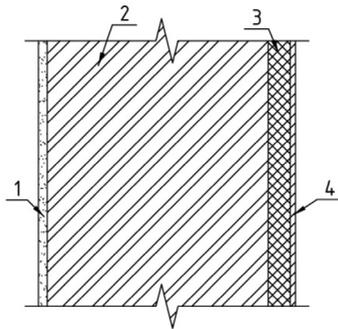


Рис. 71. Конструкция стены:

1 – наружный слой отделочного материала; 2 – несущая стена;  
3 – теплоизоляционный материал; 4 – гипсокартон

Для оценки целесообразности применения изоляции с целью повышения тепловой защиты доходных домов выполнено сравнение различных вариантов [72] при следующих условиях:

- наружная изоляция (отделка) без видимых изменений фасада снаружи здания;
- внутренняя изоляция с минимальной толщиной утеплителя.

Характеристики предлагаемых материалов приведены в табл. 12.

**Материалы для изоляции стен**

Наименование и краткое описание	Достоинства. Область применения. Особенности использования
Фасадная краска с эффектом лотоса StoLotusan Color G (защищена патент- ным правом)	<p>Достоинства:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● низкая подверженность загрязнению, эффект самоочистки за счет дождя;</li> <li>● устойчивость к воздействию непогоды ультрафиолетового излучения;</li> <li>● легкая обработка;</li> <li>● хорошая паропроницаемость и проницаемость диоксида углерода;</li> <li>● матовая поверхность, белая или цветная с множеством оттенков системы StoColor;</li> <li>● имеет повышенную защиту от водорослей и грибковых поражений</li> </ul>
Цементно-песчаная смесь	Обладает высокой теплопроводностью
LP 18-FL. Легкая штукатурка с полистиролом, усиленная армиру- ющим волокном	<p>Обладает низким модулем упругости. Минимальная вероятность образования трещин при температурных колебаниях.</p> <p>Паропроницаемая, морозостойкая. Высокая производительность при нанесении машинным способом. Высокая экономичность.</p> <p>Применение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● для наружных и внутренних работ;</li> <li>● в качестве основания для декоративных штукатурок при отделке помещений внутри и снаружи;</li> <li>● специально для нанесения на стеновые материалы с высокими теплоизоляционными свойствами (например, камень керамический и т. п.);</li> <li>● для ремонта, армирования и реконструкции старой штукатурки</li> </ul>
КНАУФ- ГРЮНБАНД	Применяется для наружных и внутренних работ, возможно ручное и механизированное нанесение

2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

Продолжение табл. 12

Наименование и краткое описание	Достоинства. Область применения. Особенности использования
Теплоизоляционная штукатурка IVSIL TERMOSIL	Сверхлегкая звуко- и теплоизоляционная легкая штукатурка IVSIL TERMOSIL – сухая штукатурная смесь на основе цемента, комплекса полимерных добавок и прочного долговечного пористого наполнителя – пеностекла Penostek для наружных и внутренних работ. Применяется как материал для теплоизоляции и звукоизоляции фасадов и как «теплая» штукатурка для выравнивания и утепления прочных недеформирующихся стен, например кирпича. В частности, при необходимости выровнять стены с минимальным увеличением нагрузки (старый фонд, реставрационные работы). Наносится вручную или машинным способом. Долговечная, не требует специальной подготовки исполнителей
WEBER.VETONIT FACADE GREY	Суперпрочная, влагостойкая, паропроницаемая. Для наружных и внутренних работ
Экструдированный пенополистирол	Экструдированный пенополистирол (или экструзионный пенополистирол) – это материал с равномерной структурой, который состоит из полностью закрытых мелких (0,1–0,2 мм) ячеек. Для его производства гранулы полистирола смешивают при высоком давлении и температуре, вводят вспенивающий агент (смеси легких фреонов и двуокись углерода), после чего выдавливают из экструдера. Имеет самые низкие показатели теплопроводности из аналогичной продукции. Химически стойкий, обладает высокой прочностью на сжатие, водо- и паронепроницаемостью, устойчивостью к образованию плесени и грибов
LOGICPIR Стена	Плиты LOGICPIR Стена предназначены для дополнительного утепления стен существующих строений. Соединительные элементы из полиуретана не впитывают влагу, предотвращают образование плесневых грибов, бактерий, клещей

Наименование и краткое описание	Достоинства. Область применения. Особенности использования
LOGICPIR Стена	Имеют минимальную толщину, низкий коэффициент теплопроводности 0,021 Вт/м·К. Водопоглощение LOGICPIR не более 1 %. Долговечны
Эковата	Целлюлозный утеплитель (эковата) – легкий, рыхлый, древесно-волокнистый нетоксичный изоляционный строительный материал. Состав – древесное волокно в виде обработанной вторичной целлюлозы 81 %, борная кислота (антисептик) – 12 %, бур (антипирен) – 7 %. Лигнин в составе волокна придает клейкость при увлажнении. Высокое сопротивление теплопередачи достигается за счет большого количества воздуха в неподвижном состоянии внутри утеплителя благодаря волокнистой структуре материала
ЛАЙТ БАТТС	Легкие минераловатные плиты, разработанные для теплоизоляции ненагружаемых конструкций

К общим недостаткам штукатурных покрытий можно отнести:

- высокую трудоемкость штукатурных работ;
- перед нанесением декоративной штукатурки стены должны быть тщательным образом очищены и обязательно обработаны специальной грунтовкой.

К недостаткам теплоизоляционных материалов можно отнести:

- возможность возгорания материала с выделением вредных веществ;
- хрупкость;
- возможность возникновения конденсата на поверхности.

Для дальнейшего анализа были выбраны материалы, характеристики которых приведены в табл. 13 и 14.

Таблица 13

## Технические характеристики материалов для наружной изоляции

Наименование материал	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м · °С)	Размер заполнителя, мм	Время использования, ч	Морозостойкость	Прочность на сжатие, МПа	Расход при толщине слоя 20 мм, кг/м <sup>2</sup>
Цементно-песчаная смесь	0,93	0-2,5	2-3	≥ 70 циклов	7-10	20
LP 18-FL	0,21	0-1,25	2	F50	> 2,5	18
КНАУФ-ГРЮНБАНД	0,35	<1,5	-	≥ 35 циклов	≥ 3,4	24
Теплоизоляционная штукатурка IVSIL TERMOSIL	0,065	-	4	25 циклов	2,5	10-11
WEBER.VETONIT FACADE GREY	0,065	1,2	2	≥ 75 циклов	8	32-36

Таблица 14

**Технические характеристики материалов для внутренней изоляции**

Наименование материала	Коэффициент теплопроводности, $\lambda_0$ , Вт/(м · °С)	Группа горючести	Паропроницаемость, мг/м·ч·Па
Экструдированный пенополистирол	0,032	Г4 / Г3	0,014
LOGICPIR Стена	0,021	Г4	–
Эковата	0,035–0,045	Г2	0,3–0,54
ЛАЙТ БАТТС	0,036–0,041	НГ	0,3

Для выбора рационального материала для повышения теплозащитных свойств наружных стен доходного дома выполнен, согласно [83], расчет теплофизических характеристик следующих вариантов конструкций (см. рис. 71).

Слои 2 и 4 остаются во всех конструкциях. Принято условие, что толщина наружного слоя во всех вариантах равна, но меняется тип используемого материала. Суммарное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определено из условий энергосбережения, согласно [83, 84]. Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) для Санкт-Петербурга составляют 4540 °С · сут/год, а требуемое сопротивление теплопередаче – 3,00 Вт/(м<sup>2</sup> · К).

В табл. 15 представлены все возможные комбинации из рассматриваемых материалов для утепления стен, в табл. 16 – результаты расчета.

**Анализируемые варианты**

№ варианта	Слои	№ варианта	Слои
1	1. Цементно-песчаный раствор. 2. Несущая стена. 3. Экструдированный пенополистирол. 4. Гипсокартон	2	1. Цементно-песчаный раствор. 2. Несущая стена. 3. LOGICPIR. 4. Гипсокартон
3	1. Цементно-песчаный раствор. 2. Несущая стена. 3. Эковата. 4. Гипсокартон	4	1. Цементно-песчаный раствор. 2. Несущая стена. 3. Лайт Баттс. 4. Гипсокартон
5	1. LP-18FL. 2. Несущая стена. 3. Экструдированный пенополистирол. 4. Гипсокартон	6	1. LP-18FL. 2. Несущая стена. 3. LOGICPIR. 4. Гипсокартон
7	1. LP-18FL. 2. Несущая стена. 3. Эковата. 4. Гипсокартон	8	1. LP-18FL. 2. Несущая стена. 3. Лайт Баттс. 4. Гипсокартон
9	1. Кнауф-Грюнбанд. 2. Несущая стена. 3. Экструдированный пенополистирол. 4. Гипсокартон	10	1. Кнауф-Грюнбанд. 2. Несущая стена. 3. LOGICPIR. 4. Гипсокартон
11	1. Кнауф-Грюнбанд. 2. Несущая стена. 3. Эковата. 4. Гипсокартон	12	1. Кнауф-Грюнбанд. 2. Несущая стена. 3. Лайт Баттс. 4. Гипсокартон
13	1. IVSIL TERMOSIL. 2. Несущая стена.	14	1. IVSIL TERMOSIL. 2. Несущая стена.

2.3. Оценка эффективности применения изоляции для повышения...

Окончание табл. 15

№ варианта	Слои	№ варианта	Слои
13	3. Экструдированный пенополистирол. 4. Гипсокартон	14	3. LOGICPIR. 4. Гипсокартон
15	1. IVSIL TERMOSIL. 2. Несущая стена. 3. Эковата. 4. Гипсокартон	16	1. IVSIL TERMOSIL. 2. Несущая стена. 3. Лайт Баттс. 4. Гипсокартон
17	1. Weber. Vetonit Facade Grey. 2. Несущая стена. 3. Экструдированный пенополистирол. 4. Гипсокартон	18	1. Weber. Vetonit Facade Grey. 2. Несущая стена. 3. LOGICPIR. 4. Гипсокартон
19	1. Weber. Vetonit Facade Grey. 2. Несущая стена. 3. Эковата. 4. Гипсокартон	20	1. Weber. Vetonit Facade Grey. 2. Несущая стена. 3. Лайт Баттс. 4. Гипсокартон

Таблица 16

## Результаты расчета

№ варианта	№ слов конструк- ции	Толщина слоя $\delta_p$ , м	Принятая толщина слоя $\delta_p$ , м	Теплопроводность материала $\lambda_p$ , Вт/(м·К)	Термическое сопротивление $R_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Расчетное сопротивление теплопередаче конструкции $R_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
1	1	0,02	–	0,930	0,022	3,484
	2	–	–	–	1,424	
	3	–	0,046	0,032	1,438	
	4	0,009	–	0,150	0,6	
2	1	0,02	–	0,930	0,022	3,475
	2	–	–	–	1,424	
	3	–	0,030	0,021	1,429	
	4	0,009	–	0,150	0,6	
3	1	0,02	–	0,930	0,022	3,475
	2	–	–	–	1,424	
	3	–	0,05	0,035	1,429	
	4	0,009	–	0,150	0,6	
4	1	0,02	–	0,930	0,022	3,463
	2	–	–	–7	1,424	

2.3. Оценка эффективности применения изоляции для повышения...

4	3	-	0,051	0,036	1,417	3,463
	4	0,009	-	0,150	0,6	
5	1	0,02	-	0,21	0,095	3,463
	2	-	-	-	1,424	
	3	-	0,043	0,032	1,344	
	4	0,009	-	0,150	0,6	
6	1	0,02	-	0,21	0,095	3,452
	2	-	-	-	1,424	
	3	-	0,028	0,021	1,333	
	4	0,009	-	0,150	0,6	
7	1	0,02	-	0,21	0,095	3,48
	2	-	-	-	1,424	
	3	-	0,047	0,035	1,343	
	4	0,009	-	0,150	0,6	
8	1	0,02	-	0,21	0,095	3,48
	2	-	-	-	1,424	
	3	-	0,049	0,036	1,361	
	4	0,009	-	0,150	0,6	
9	1	0,02	-	0,35	0,057	3,487
	2	-	-	-	1,424	

2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

Продолжение табл. 16

№ варианта	№ слоя	конструк- ции	Толщина слоя $\delta_r$ , м	Принятая толщина слоя $\delta_r$ , м	Теплопроводность материала $\lambda_r$ , Вт/(м·К)	Термическое сопротивление $R_r$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Расчетное сопротивление теплопередаче конструкции $R_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
9	3		–	0,045	0,032	1,406	3,487
	4		0,009	–	0,150	0,6	
10	1		0,02	–	0,35	0,057	3,462
	2		–	–	–	1,424	
	3		–	0,029	0,021	1,381	
	4		0,009	–	0,150	0,6	
11	1		0,02	–	0,35	0,057	3,481
	2		–	–	–	1,424	
	3		–	0,049	0,035	1,400	
	4		0,009	–	0,150	0,6	
12	1		0,02	–	0,35	0,057	3,47
	2		–	–	–	1,424	
	3		–	0,05	0,036	1,389	
	4		0,009	–	0,150	0,6	
13	1		0,02	–	0,065	0,308	3,488

2.3. Оценка эффективности применения изоляции для повышения...

13	2	-	-	-	-	1,424	3,488
	3	-	0,0037	0,032	0,032	1,156	
	4	0,009	-	0,150	0,150	0,6	
	1	0,02	-	0,065	0,065	0,308	
14	2	-	-	-	-	1,424	3,475
	3	-	0,024	0,021	0,021	1,143	
	4	0,009	-	0,150	0,150	0,6	
	1	0,02	-	0,065	0,065	0,308	
15	2	-	-	-	-	1,424	3,475
	3	-	0,04	0,035	0,035	1,143	
	4	0,009	-	0,150	0,150	0,6	
	1	0,02	-	0,065	0,065	0,308	
16	2	-	-	-	-	1,424	3,471
	3	-	0,041	0,036	0,036	1,139	
	4	0,009	-	0,150	0,150	0,6	
	1	0,02	-	0,065	0,065	0,308	
17	2	-	-	-	-	1,424	3,488
	3	-	0,037	0,032	0,032	1,156	
	4	0,009	-	0,150	0,150	0,6	
	1	0,02	-	0,065	0,065	0,308	
18	1	0,02	-	0,065	0,065	0,308	3,475

2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

Окончание табл. 16

№ варианта	№ слоя конструкции	Толщина слоя $\delta_p$ , м	Принятая толщина слоя $\delta_p$ , м	Теплопроводность материала $\lambda_p$ , Вт/(м·К)	Термическое сопротивление $R_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Расчетное сопротивление теплопередаче конструкции $R_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
18	2	–	–	–	1,424	3,475
	3	–	0,024	0,021	1,143	
	4	0,009	–	0,150	0,6	
19	1	0,02	–	0,065	0,308	3,475
	2	–	–	–	1,424	
	3	–	0,040	0,035	1,143	
	4	0,009	–	0,150	0,6	
20	1	0,02	–	0,065	0,308	3,471
	2	–	–	–	1,424	
	3	–	0,041	0,036	1,139	
	4	0,009	–	0,150	0,6	

На рис. 72 представлены результаты расчета термических сопротивлений и сопротивления теплопередаче наружной стены доходного дома в Санкт-Петербурге при условии, что сопротивление теплопередаче конструкций должна отличаться не более чем на 5 %.

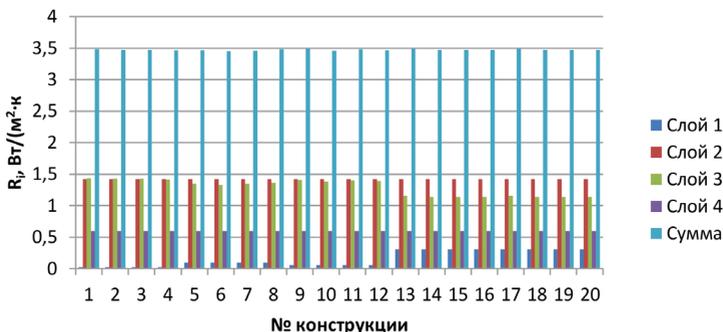


Рис. 72. Сопротивление теплопередаче

На рис. 73 приведены результаты расчета толщины слоя теплоизоляции.

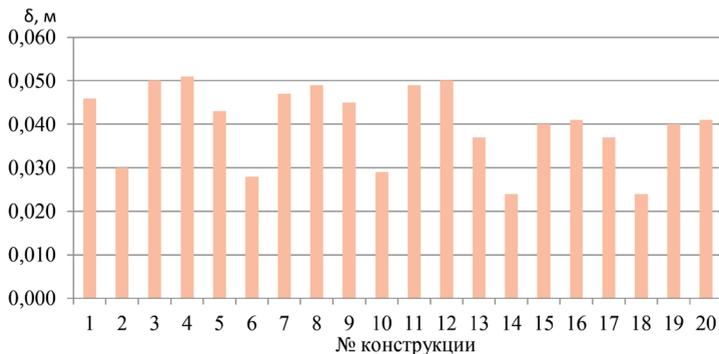


Рис. 73. Толщина утеплителя

Анализ результатов расчета позволяет сделать вывод, что минимальная толщина теплоизоляционного слоя будет при исполь-

2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

зовании вариантов 14 и 18. В табл. 17 представлены результаты анализа стоимости материалов для фасада площадью 610 м<sup>2</sup> в ценах 2018 г.

Таблица 17

**Расчет стоимости материалов**

№ варианта	№ слоя	Кол-во необходимого материала	Стоимость материала за ед., руб.	Расчетная стоимость материала, руб.	Суммарная стоимость материалов, тыс. руб.
1	2	3	4	5	6
1	1	7650 кг	164	25 092	143,6
	3	70 уп.	1236	86 520	
	4	128 шт.	250	32 000	
2	1	7650 кг	164	25 092	282,8
	3	91 уп.	2480	225 680	
	4	128 шт.	250	32 000	
3	1	7650 кг	164	25 092	81,1
	3	16 м <sup>3</sup>	1500	24 000	
	4	128 шт.	250	32 000	
4	1	7650 кг	164	25 092	102,3
	3	64 уп.	707	45 248	
	4	128 шт.	250	32 000	
5	1	6900 кг	665	183 540	302,1
	3	70 уп.	1236	86 520	
	4	128 шт.	250	32 000	
6	1	6900 кг	665	183 540	441,2
	3	91 уп.	2480	225 680	
	4	128 шт.	250	32 000	

2.3. Оценка эффективности применения изоляции для повышения...

Продолжение табл. 17

1	2	3	4	5	6
7	1	6900 кг	665	183 540	239,5
	3	16 м <sup>3</sup>	1500	24 000	
	4	128 шт.	250	32 000	
8	1	6900 кг	665	183 540	260,8
	3	64 уп.	707	45 248	
	4	128 шт.	250	32 000	
9	1	9200 кг	302	111 136	229,7
	3	70 уп.	1236	86 520	
	4	128 шт.	250	32 000	
10	1	9200 кг	302	111 136	368,8
	3	91 уп.	2 480	225 680	
	4	128 шт.	250	32 000	
11	1	9200 кг	302	111 136	171,6
	3	19 м <sup>3</sup>	1500	28 500	
	4	128 шт.	250	32 000	
12	1	9200 кг	302	111 136	188,4
	3	64 уп.	707	45 248	
	4	128 шт.	250	32 000	
13	1	4200 кг	713	249 550	373,1
	3	70 уп.	1307	91 490	
	4	128 шт.	250	32 000	
14	1	4200 кг	713	249 550	507,2
	3	91 уп.	2 480	225 680	
	4	128 шт.	250	32 000	
15	1	4200 кг	713	249 550	310,1
	3	19 м <sup>3</sup>	1500	28 500	
	4	128 шт.	250	32 000	

2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной...

Окончание табл. 17

1	2	3	4	5	6
16	1	4200 кг	713	249 550	326,8
	3	64 уп.	707	45 248	
	4	128 шт.	250	32 000	
17	1	13 000 кг	278	144 560	268,1
	3	70 уп.	1307	91 490	
	4	128 шт.	250	32 000	
18	1	13 000 кг	278	144 560	402,2
	3	91 уп.	2480	225 680	
	4	128 шт.	250	32 000	
19	1	13 000 кг	278	144 560	205,1
	3	19 м <sup>3</sup>	1500	28 500	
	4	128 шт.	250	32 000	
20	1	13 000 кг	278	144 560	221,8
	3	64 уп.	707	45 248	
	4	128 шт.	250	32 000	

На рис. 74 приведены итоговые данные сравнения стоимости применяемых материалов.

Из сравнения стоимости материалов видно, что наименее затратными являются варианты 3 и 4 за счет низкой стоимости цементно-песчаного раствора. Окончательное решение при выборе варианта утепления должно приниматься с учетом затрат на строительно-монтажные работы.

В соответствии с ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [128], Жилищным комитетом Администрации Санкт-Петербурга принята Региональная программа капитального ремонта многоквартирных жилых домов [129], при этом часть средств запланирована на повышение теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций.

Тщательный выбор строительных материалов на основе оценки тактильной теплоты и теплового поведения строительных материалов может существенно снизить потребление энергии в зданиях.

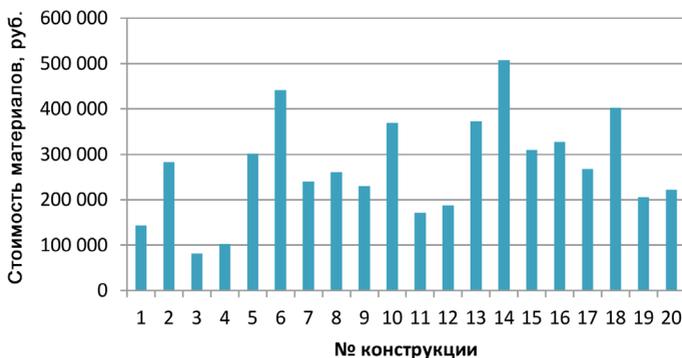


Рис. 74. Стоимость материалов

Возможны и другие варианты снижения энергопотребления. Так, одно из современных направлений модернизации исторических зданий – создание атриумов, что особенно актуально для центральных районов Санкт-Петербурга, где традиционно жилые дома создавались с образованием внутреннего двора [69, 71]. Использование атриумов позволяет решить вопросы улучшения естественного освещения и инсоляции, а также способствует снижению потерь теплоты через наружные ограждения. В работе [130] приведены результаты исследования процесса аккумуляции тепловой энергии цементным композитным гипсом, использование которого может способствовать энергосбережению в оболочках зданий.

### **3. ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ДОХОДНЫХ ДОМОВ ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ**

#### **3.1. Энергосбережение и энергоэффективность в жилищном строительстве**

Вопросы совершенствования методов расчета процессов тепло-массообмена в ограждающих конструкциях и повышения энергоэффективности зданий рассмотрены в работах многих исследователей, в том числе В. Н. Богословского [111], В. Г. Гагарина [131], Т. А. Дацюк [93, 94], Ю. Я. Кувшинова [132], Е. Г. Малявиной [102, 133], А. Г. Перехоженцева [113], Г. М. Позина [96], В. А. Пухкала [66, 70, 93], Ю. А. Табунщикова [134], О. Сеппанена [135] и др.

Тенденция максимально возможного снижения энергопотребления в строительстве особенно усилилась в XXI в.

Как отмечено в обзоре «Международный опыт энергосбережения в многоквартирных жилых домах» [136], с начала века в США за счет энергосберегающих мероприятий энергопотребление было снижено на 20 % благодаря законодательно закрепленным мероприятиям. Министерство энергетики США включает в программу энергосбережения следующие мероприятия:

- энергоаудит;
- теплоизоляцию трубопроводов;
- утепление строительных конструкций жилых домов;
- установку двойных оконных рам и двойных дверей;
- установку теплоотражательных элементов кровли;
- усовершенствование системы климат-контроля (нагревание, вентиляция, охлаждение).

Программа включает 10%-ную налоговую скидку от стоимости изоляционных работ, замены окон. По программе налогоплательщики, занимающиеся повышением энергоэффективности жилья, могут рассчитывать на льготы в уплате подоходного налога.

При выполнении владельцами жилья следующих работ в направлении энергосбережения:

- установка тепловых насосов;
- установка гелиосистем для подогрева воды;
- устройство фотогальванических энергосистем предоставляется безлимитная 30%-ная налоговая льгота и компенсация стоимости материалов. При этом история развития, например, солнечной энергетики в США насчитывает более 50 лет.

Особенно много различных технических решений в области энергосбережения используется в странах Западной Европы, где практически отсутствуют соответствующие полезные ископаемые. Так же, как в США, для стимулирования энергосбережения в странах Евросоюза используют:

- налоговые льготы;
- получение субсидий на частичное покрытие затрат по внедрению технологий и ссуд со сниженными процентными ставками;
- применение энергетическими компаниями льготной тарифной сетки для зданий с низким энергопотреблением;
- внедрение системы контроля энергопотребления и привлечения к ответственности за нарушение установленных норм строительства и эксплуатации зданий.

Для этого используются специально созданные технические регламенты в области энергетической эффективности зданий [135], действующие в направлении постепенного ужесточения требований. В некоторых из них регламентируются:

- относительная доля оконных проемов и коэффициент естественного освещения;
- режимы проветривания при естественной вентиляции;
- режим функционирования солнцезащитных устройств;
- герметичность ограждающих конструкций здания в основном по величине воздухопроницаемости,  $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ .

Наряду с этими ограничениями в Евросоюзе увеличивается доля использования тепловой энергии, извлекаемой из альтернативных источников. Применяют различные виды тепловых насо-

сов, ветроустановки, солнечные энергоустановки. В Германии, например, тепловые насосы начали применять с середины 1970-х гг. Также Германия имеет порядка 20 ГВт установленной мощности ветрогенераторов, 2 ГВт установленной мощности фотогальванических систем и 5 ГВт систем солнечного отопления. Швеция получает до 60 % генерации энергии от возобновляемых источников. В Германии, Австрии, Швеции и Франции развивается производство на различных видах сырья биогаза, используемого для выработки тепловой энергии.

С начала 1970-х гг. развиваются энергосберегающие технологии и в Японии, в том числе в строительстве и реконструкции жилых домов.

В нашей стране вопросами энергосбережения активно стали заниматься после принятия Федерального закона № ФЗ-261 [128]. В настоящее время в жилищном хозяйстве работа по энергосбережению и повышению энергоэффективности развивается в следующих направлениях:

- энергосберегающие мероприятия, направленные на оптимизацию уровня теплозащиты в жилых зданиях;
- снижение потерь теплоты изолированными теплопроводами;
- повышение КПД котельных;
- устройство прерывистого отопления;
- снижение расхода теплоты на нагрев наружного воздуха, поступающего в здания;
- использование вторичных энергоресурсов для нагрева приточного воздуха и воды в системах горячего водоснабжения;
- использование геотермальных вод и солнечной энергии для отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- совершенствование систем отопления и вентиляции, включая диспетчеризацию и автоматизацию работы этих систем.

Выработаны общие направления энергосбережения в жилищном строительстве:

- обеспечение компактности объемно-пространственной формы здания;

- сокращение энергопотребления внутри здания за счет энергосберегающих технологий;
- рациональная ориентация здания с учетом инсоляции и оптимального освещения, эффективное использование солнечной энергии наклонными гелиоприемниками, размещенными на южном фасаде;
- высокие теплозащитные характеристики наружных ограждений;
- применение систем регенерации и рекуперации тепла;
- рациональное потребление воды – применение и использование подземных вод для обогрева и охлаждения помещений здания, использование подземных вод в туалетных бачках вместо питьевой;
- применение энергоэффективного освещения;
- комфортность микроклимата помещений (механическая приточно-вытяжная вентиляция);
- применение альтернативных источников энергии.

Эффективными способами снижения потребления энергии являются архитектурно-планировочные решения:

- увеличение ширины корпуса здания;
- минимальное соотношение площади наружных ограждений и ограждаемой площади здания (коэффициент компактности);
- объемно-пространственная форма здания (снижение ветровой нагрузки, пониженной солнечной освещенности наружной поверхности здания);
- использование высокоэффективных активных двойных стен с внутренней вентиляцией в качестве наружного ограждения с механизированными жалюзи.

Коэффициент (показатель) компактности объема здания – это отношение площади наружного ограждения к отопляемому, внутреннему или строительному объему. В общем случае чем больше объем здания, тем меньше этот коэффициент. При равных объемах здания коэффициент меньше у тех зданий, которые ближе по форме к шару или кубу. Максимально компактной является форма шара.

Современные здания, сооружаемые, например, в Москве, начиная с 2000 г., имеют показатель удельного расхода тепла на отопление 110–130 кВт·ч/м<sup>2</sup> для этажности в 5–9 этажей и 95–80 кВт·ч/м<sup>2</sup> для большей этажности [138]. Это соответствует требованиям немецких нормативных документов 1995 г. Ожидалось, что после принятия новых нормативных документов расход тепловой энергии снизится примерно на 50 %. Однако фактические данные по результатам обследований по методике [139] показывают, что теплопотребление уменьшилось всего на 15–20 %, а во многих случаях отношение фактических значений теплопотребления к требуемым существенно больше 1, что связано с особенностями проектных расчетов. Отмечена в [138] парадоксальная ситуация: фактическое теплопотребление зданий, запроектированных до 2000 г., ниже ожидаемого проектного значения более чем на 20 %, но близко к требуемому, а запроектированных после 2000 г. и прошедших капитальный ремонт по утеплению фасадов, несмотря на наличие в системе отопления термостатов, превышает требуемое на 40–60 % [139].

В работе [131] представлены данные о структуре теплопотребления современным зданием: 50 % затрат приходится на горячее водоснабжение (ГВС), 25 % на обеспечение необходимого воздухообмена, по 12,5 % на теплопотери через окна и остальную теплозащитную оболочку. Если рассмотреть структуру теплопотерь жилых зданий, то доля наружных стен составляет около 30 %, светопрозрачных наружных ограждений – 25–30 %, пола 1-го этажа и потолка последнего – 4–5 %, остальные почти 40 % – расход теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха в объеме, необходимом для вентиляции по санитарным нормам (3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилой площади квартиры или 30 м<sup>3</sup>/ч на человека).

В настоящее время широко обсуждается вопрос о необходимости повышения степени энергосбережения зданий при проведении капитального ремонта за счет утепления фасадов и увеличения требований к приведенному сопротивлению теплопередачи

ограждающей конструкции [131, 140]. Некоторые специалисты считают необходимым перенести требования европейских стандартов в российские нормативные документы. Другие считают, что Россия, учитывая особенности и разнообразие климатических условий, наличия больших запасов углеводородного сырья, имеет принципиальные отличия от стран Европы с точки зрения потребления энергетических ресурсов, в том числе для целей теплоснабжения.

Известно, что одной из основных характеристик для определения тепловой энергии является величина *градусо-суток отопительного периода* (ГСОП), зависящая от продолжительности и средней температуры наружного воздуха в течение отопительного периода. Для российских регионов диапазон ГСОП – от 2500 на юге до 10 000 в районе Норильска, а для большинства европейских стран 2000–2500. Расчетная температура наружного воздуха в странах Европы принимается как для городов Черноморского побережья России. А расчетная температура наружного воздуха в России существенно ниже, например в Петербурге ( $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), в Якутске ( $-64\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Кроме того, отличаются и нормативные требования к параметрам микроклимата помещений в нашей стране [43, 90] и в Европе [141, 142]. В Европе выбор расчетных температур внутреннего воздуха основан на общих критериях комфорта, при этом используется индекс PMV-PPD  $\pm 0,5$  для категории В ( $\pm 0,2$  для категории А и  $\pm 0,7$  для категории С). PMV – predicted mean vote, PPD – predicted percent dissatisfied – показатели реакции человека на тепловой комфорт, предложены Р. О. Fanger [141].

На рис. 75 показаны расчетные величины температуры воздуха в помещениях жилых зданий, не оборудованных СКВ, как функция от экспоненциально-средневзвешенной средней наружной температуры: I ~ 90 %, II ~ 80 %, III ~ 65 % людей удовлетворены условиями внутри помещения [142].

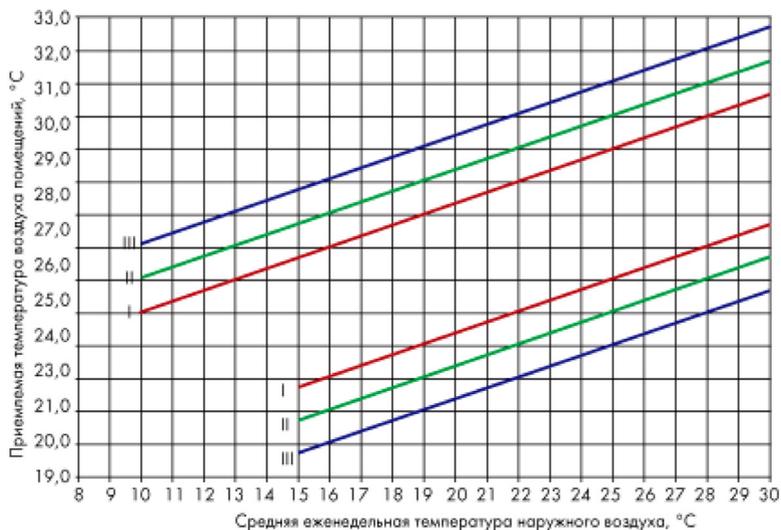


Рис. 75. Расчетные величины температуры воздуха в помещениях жилых зданий, не оборудованных СКВ, в зависимости от категории здания

Категории зданий приведены в табл. 18.

Таблица 18

**Категории здания в зависимости от требований, предъявляемых к микроклимату помещений**

Категория здания	Описание уровня требований к микроклимату
I	Высокий уровень ожидаемых требований рекомендуется для помещений, в которых присутствуют очень чувствительные люди с особыми требованиями – пожилые люди, инвалиды, больные, маленькие дети
II	Нормальный уровень требований следует использовать для вновь строящихся и реконструируемых зданий
III	Приемлемый, средний уровень требований может быть использован для существующих зданий

Категория здания	Описание уровня требований к микроклимату
IV	Значения параметров ниже уровня, установленного для здания соответствующей категории. Эта категория считается приемлемой только в отдельной, ограниченной части здания

В табл. 19 приведены рекомендуемые расчетные значения температуры воздуха помещений, используемые при проектировании систем климатизации жилых зданий.

Таблица 19

**Рекомендуемые расчетные значения температуры воздуха помещений, используемые при проектировании систем климатизации жилых зданий**

Тип помещения	Категория	Рабочая температура, °C	
		Отопление (зимнее время) ~ 1,0 clo*	Охлаждение (летнее время) ~ 0,5 clo
Жилые здания: жилые помещения (спальни, гостиные, кухни и т. д.). Люди неподвижные ~ 1,2 met	A	21,0	25,5
	B	20,0	26,0
	C	18,0	27,0
Жилые здания: прочие помещения (кладовки, коридоры и т. д.). Люди стоящие, ходящие ~ 1,6 met	A	18,0	–
	B	16,0	–
	C	14,0	–

\* В таблице используются обозначения:

clo – показатель, характеризующий теплоизоляционные качества различных видов одежды; 1 clo эквивалентен  $0,155 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ ;

met – показатель обмена веществ (metabolic rate) – показатель, характеризующий тепловыделение от людей в зависимости от их двигательной активности; 1 met = 58,1 Вт/м<sup>2</sup>.

### 3. Показатели энергосбережения доходных домов дореволюционной...

В табл. 20 приведены расчетные температуры воздуха для проектирования систем отопления в России [43].

Таблица 20

#### Оптимальные и допустимые нормы температуры воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий

Период года	Наименование помещений	Оптимальная, °С	Допустимая, °С
Холодный	Жилая комната	20–22	18–24
	Жилая комната в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) –31 °С и ниже	21–23	20–24 (22–24)
	Кухня	19–21	18–26
	Туалет	19–21	18–26
	Ванная, совмещенный санузел	24–26	18–26
	Помещение для отдыха и учебных занятий	20–22	18–24
	Кладовая	16–18	12–22
Теплый	Жилая комната	22–25	20–28

Как видно из данных табл. 19 и 20, расчетные температуры воздуха для проектирования отопления, согласно российским нормативным требованиям, более высокие, что тоже объясняется особенностями климатических условий нашей страны. Но такие значения также увеличивают значения теплотребления зданий.

Если принять за основу европейские уровни удельного потребления энергетических ресурсов, то практически на всей территории страны затраты на достижение этих норм будут несоизмеримо больше, чем в европейских странах, и не компенсируются за счет энергосбережения, как показано на рис. 76 из работы [140].

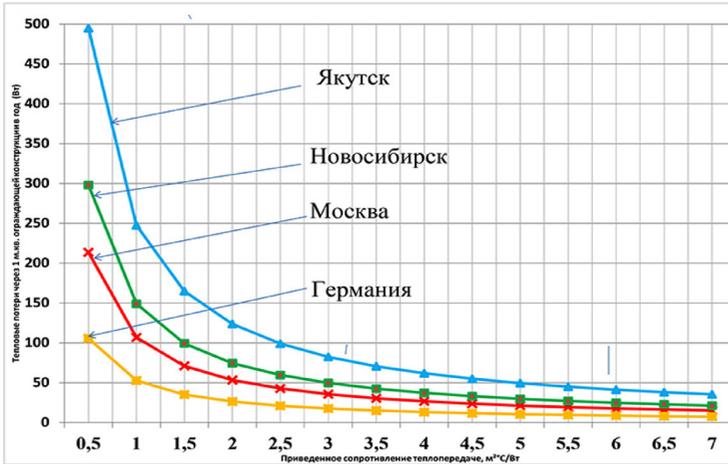


Рис. 76. Годовые тепловые потери через ограждающие конструкции здания в зависимости от сопротивления теплопередаче

Результаты экономического анализа работы [140] показывают, что использование светопрозрачных конструкций с низкоэмиссионным стеклом при увеличении сопротивления теплопередаче в два раза может обеспечить не только снижение теплотребления, но и достаточно короткий срок окупаемости.

Для светопрозрачных конструкций при обеспечении нормативных требований по теплозащите остаются проблемы потерь теплоты в местах примыкания к наружным стенам – как показывают результаты тепловизионных обследований (рис. 77) и данные работы [141].

Сейчас в новом строительстве и при капитальном ремонте жилых зданий применяют окна, которые изготавливают по европейским стандартам, во многих случаях – теплозащитные и герметичные, реже с возможностями микровентиляции, установкой приточных клапанов. В любом случае неизбежно будут иметь место потери теплоты на нагрев поступающего воздуха. В первом случае при герметичных окнах потери теплоты невозможно контролировать, что существенно повышает теплотребление здания.

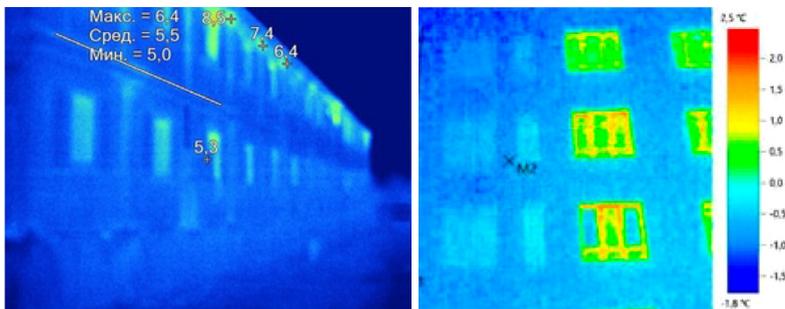


Рис. 77. Результаты тепловизионных обследований жилых зданий

Современные американские и европейские нормативные документы основываются на оценке удовлетворенности тепловым комфортом в помещении [141, 144, 145]. Кроме того, установлена взаимосвязь между увеличением количества астматических и аллергических заболеваний в развитых странах и качественным состоянием внутреннего воздуха в жилых помещениях. В настоящее время состояние внутреннего воздуха определяется наряду с количеством и качеством приточного воздуха, эффективностью вытяжной вентиляции, а также увеличением числа установленных электронных устройств в жилых помещениях и использованием множества новых материалов, особенно полимеров.

В ходе исследований связи между качеством воздуха и заболеваниями астмой и аллергией, проводившихся в холодном климате Центральной Швеции в регионах с прекрасным качеством наружного воздуха [146], было выявлено (рис. 78), что увеличение в четыре раза кратности воздухообмена снизило вероятность появления аллергических симптомов практически в два раза.

С начала 2000-х гг. начинаются работы по совершенствованию нормативной базы для проектирования инженерных систем, в том числе систем вентиляции. Как отмечено в [147], действующие в настоящее время содержат неполные, а иногда и противоречивые данные. На основе анализа действующих отечественных нормативных документов по вентиляции жилых зданий, европей-

ских и американских стандартов качества воздуха была разработана первая редакция АВОК стандарт 1–2002 «Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена», затем последовали обновленные редакции 2004 и 2008 гг. [148].

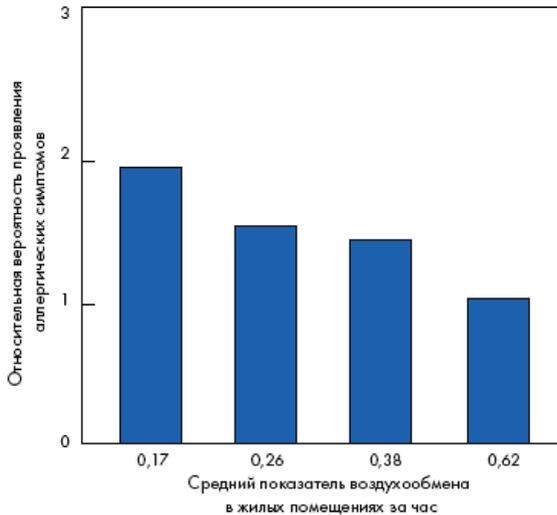


Рис. 78. Влияние интенсивности вентиляции в жилых помещениях на риск проявления аллергических реакций у детей

Изначально в качестве прототипа первой редакции стандарта был использован стандарт ASHRAE 62.1–1999 «Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality» [147]. В основу стандартов положены две методики нахождения воздухообмена. Первая методика построена на удельных нормах воздухообмена (табл. 21), которая традиционно используется в нашей стране [44, 90].

Вторая методика основана на расчете допустимых концентраций загрязняющих веществ. В документе указаны предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе населенных пунктов и обслуживаемой зоне помещений, а также нормы минимального воздухообмена в помещениях жилых зданий [147].

### 3. Показатели энергосбережения доходных домов дореволюционной...

Надо отметить, что эта методика используется в наших нормативных документах [44], только применяется преимущественно для производственных зданий. Кроме того, в России действует нормативный документ [149], который устанавливает предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов. Разница с нормативным документом для воздуха рабочей зоны производственных помещений [150] заключается во времени воздействия.

Таблица 21

#### Удельные расходы приточного воздуха

Помещение	Воздухообмен
Жилые помещения (общая комната, спальня, детская) при общей площади квартиры на 1 чел. более 20 м <sup>2</sup> (естественное проветривание)	30 м <sup>3</sup> /(ч·чел.), но не менее 0,35 ч <sup>-1</sup> по общему объему квартиры
То же при общей площади квартиры на 1 чел. более 20 м <sup>2</sup> (без естественного проветривания)	45 м <sup>3</sup> /(ч·чел.)
То же при общей площади квартиры на 1 чел. менее 20 м <sup>2</sup> (естественное проветривание)	3 м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> жилой площади)
Кладовая, бельевая, гардеробная	0,2 ч <sup>-1</sup>
Кухня с электроплитой	60 м <sup>3</sup> /ч
Помещение с газоиспользующим оборудованием	100 м <sup>3</sup> /ч
Помещение с теплогенераторами общей теплопроизводительностью до 50 кВт (высотой менее 6 м)	100 м <sup>3</sup> /ч, дополнительно 100 м <sup>3</sup> /ч при установке газовой плиты
Ванная, душевая, туалет, совмещенный санузел	25 м <sup>3</sup> /ч
Машинное отделение лифта	По расчету
Мусоросборная камера (по объему помещения)	1 ч <sup>-1</sup>

В новой редакции стандарта АВОК 2.1–2017 [147] учтены новейшие исследования в области качества воздуха, внесенные в стандарт ASHRAE Standard 62.1–2016. В стандарте сделана по-

пытка гармонизировать отечественные нормы и нормы стандарта ASHRAE Standard 62.1–2016. В настоящем стандарте уточнены нормы минимального воздухообмена в помещениях жилых зданий в периоды, когда они не используются; приведены значения предельно допустимых концентраций (ПДК) радиоактивных газов [147].

Существенную положительную роль в организации воздухообмена в жилых зданиях сыграли Технические рекомендации АВОК [151], благодаря которым активно в строительстве и капитальном ремонте стали устанавливать приточные клапаны на пластиковые окна и в наружные стены (рис. 79).

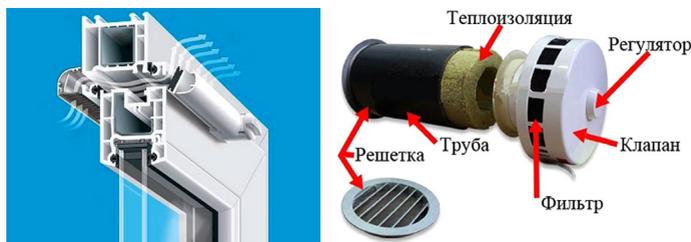


Рис. 79. Приточные клапаны: на пластиковое окно (слева); для стены (справа)

Такие устройства не являются кардинально новыми, они были предложены и реализованы И. Д. Флавицким с 1874 г. в доходных домах Санкт-Петербурга.

Учитывая, что возможности энергосбережения за счет повышения коэффициента сопротивления теплопередаче практически исчерпаны, возникла необходимость уточнения нормативных требований к вентиляции жилых зданий. Расходы воздуха, представленные в табл. 21, учитываются при определении тепловой нагрузки на системы отопления, существенно увеличивая ее. Однако в реальных условиях расходы приточного воздуха, а в некоторых случаях и удаляемого, значительно меньше проектных. Это и приводит к фактическому повышению температуры воздуха в жилых помещениях, с чем жильцы борются, открывая форточки.

Как показывают исследования, проведенные в работе [152], в результате снижения трансмиссионных потерь за счет использования теплоизоляции ограждающих конструкций доля теплопотерь на нагрев инфильтрующегося воздуха постепенно растет. Если до «тепловой реабилитации здания» эта доля составляла около 30 %, то после завершения теплоизоляционных работ – 53 %. На основании анализа нормируемой величины  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади выявлено, что такая норма связана с многолетней нормой жилой площади на человека, принятой в СССР. Основана норма на проведенных немецким гигиенистом Карлом Флюгге в XIX в. исследованиях вопросов состояния микроклимата помещений. Экспериментальным путем была определена величина выделения углекислого газа человеком –  $40 \text{ г/ч}$ . Исходя из этого, определялся воздухообмен на ассимиляцию диоксида углерода. Поскольку современная норма жилой площади увеличилась практически в два раза, то, соответственно, может быть уменьшен и нормируемый воздухообмен – до  $1,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ .

Использование современного вентиляционного оборудования кухни также может способствовать решению вопроса об уменьшении расходов удаляемого воздуха.

Таким образом, упорядочение нормативных и фактических требований к организации воздухообмена в жилых помещениях позволит значительно снизить расходы тепловой энергии на отопление здания.

В настоящее время в новом строительстве обязательным является установка термостатов перед каждым отопительным прибором [138], существенно увеличивающая капитальные затраты. Использование термостатов призвано снижать теплопотребление на отопление с учетом бытовых теплопоступлений и поступлений теплоты за счет солнечной радиации. Но за рубежом одновременно с термостатом устанавливают теплоизмеритель для учета теплопотребления. Отсутствие теплоизмерителей неизбежно способствует увеличению теплопотребления, поскольку жильцы, не ощущая экономии, живут при открытых термостатах и форточках, через которые удаляют избытки теплоты.

Значительный положительный вклад в энергосбережение вносит перевод, где возможно, организации теплоснабжения для целей отопления и ГВС через индивидуальные тепловые пункты (ИТП). Однако во многих жилищных массивах страны теплоснабжение зданий по-прежнему осуществляется через центральный тепловой пункт (ЦТП), где установлены устройства регулирования подачи теплоты. Использование элеваторов, основным положительным свойством которых является обеспечение постоянного коэффициента эжекции, не способствует решению вопросов энергосбережения в системах отопления.

При установке термостатов на отопительных приборах в однотрубных системах с элеваторами происходит следующее: при закрытии термостатов возрастет температура обратной воды и, соответственно, возрастает нерегулируемая теплоотдача трубопроводов стояков системы отопления, что снижает эффективность авторегулирования термостатами.

В двухтрубных системах закрытие термостатов приводит к сокращению расхода воды, циркулирующей в системе, но при неизменном расходе сетевой воды через сопло элеватора это вызывает увеличение температуры воды в подающем трубопроводе системы отопления и также нерегулируемую теплоотдачу стояков.

Как отмечено в работе [138], во избежание этого рекомендуется осуществлять автоматическое регулирование температуры воды в подающем трубопроводе системы отопления по графику в зависимости от температуры наружного воздуха.

Более современным способом энергосберегающей технологии устройства отопления является использование поквартирных горизонтальных систем отопления с подключением к стоякам, прокладываемым по лестничной клетке. В этом случае реализуется система контроля теплопотребления по теплосчетчику, который устанавливается непосредственно в квартире.

Повышению энергоэффективности жилых зданий способствует внедрение автоматизированных систем учета потребления энергоресурсов. Имея в виду, что ежегодные объемы нового жилищного строительства составляют не более 2 % существующего

жилого фонда, можно сказать, что основные ресурсы энергосбережения относятся именно к сфере эксплуатации систем энергопотребления. Одно из возможных решений экономии энергоресурсов, основанное на масштабных исследованиях в Москве в конце 1990-х, – это устройство пофасадного авторегулирования, не требующего больших затрат.

Для обеспечения экономического обоснования энергосберегающих технологий необходим комплексный анализ потерь теплоты во всех элементах здания. Так, например, по данным работы [139], потери теплоты от 1 м неизолированной трубы диаметром 100 мм отопительной системы эквивалентны тепловым потерям 10 м<sup>2</sup> наружной стены.

В результате внедрения энергосберегающих мероприятий для отдельного здания снижается его теплоснабжение, что, возможно, будет учтено при оплате за потребленные ресурсы. Но в России исторически еще в довоенные годы, исходя из требований развития промышленности, сложилась система централизованного энергоснабжения преимущественно на базе ТЭЦ, что не характерно для европейских стран. При этом выработанная электроэнергия поставляется в единую энергосистему при стабильном увеличении спроса. В настоящее время в отопительных котельных также происходит постепенный переход на когенерационный цикл. В результате при повышении спроса на электроэнергию спрос на тепловую энергию сокращается. При этом дополнительно тепловую энергию вырабатывают котельные, отдельные районы городов и других населенных пунктов снабжаются тепловой энергией от источников тепловой энергии предприятий, устанавливаются индивидуальные котельные для отдельных объектов и индивидуальные котлы для квартир. Таким образом, во многих городах складывается ситуация с превышением выработки тепловой энергии над потреблением. Содержание избыточных мощностей также ложится на потребителей.

Таким образом, обеспечение режима энергосбережения в жилых зданиях – это задача комплексная, которую невозможно ре-

шить только за счет изменения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций.

Однако указанные исследования посвящены преимущественно современным зданиям и строительным конструкциям. Что касается изучения теплового режима жилых зданий дореволюционной постройки, то систематических исследований практически не проводилось.

Учитывая, что теплоизоляция наружных ограждений доходных домов имеет ограничения с архитектурной точки зрения, основным направлением исследований в области создания комфортных условий в помещениях является совершенствование технических решений систем обеспечения микроклимата как в исторических зданиях в нашей стране, так и в Западной Европе [62–64]. Например, обязательное требование устройства отопления в культовых зданиях определило особое направление в исследованиях процессов теплообмена, функционирования систем отопления и вентиляции, применения возобновляемых источников энергии с учетом специфических особенностей этих зданий.

Большинство зданий жилого фонда России характеризуется низкой энергоэффективностью и высокой потребностью в капитальном ремонте, которая в перспективе будет сохраняться. При этом основным потребителем энергии остаются системы отопления – около 62 % от общего энергопотребления. Успех применения энергоэффективных мероприятий невозможен без обоснованного расчета требуемой теплопроизводительности систем отопления.

Региональная программа капитального ремонта многоквартирных жилых домов [129] рассчитана на период до 2035 г. и включает работы по капитальному ремонту систем отопления в 11,5 тыс. зданий, при этом 32 % зданий из адресного списка – дома дореволюционной постройки.

Приведенный анализ показывает, что исторические здания, в том числе так называемые доходные дома, представляют особую категорию зданий с пористыми конструкциями, требующими изучения как теплотехнических характеристик материалов с исполь-

зованием современных методов и средств, так и энергетических показателей систем обеспечения микроклимата.

Несмотря на то что современные требования по тепловой защите здания не распространяются на данную категорию зданий, тем не менее в публикациях отечественных и зарубежных исследователей рекомендуется с точки зрения повышения энергоэффективности одновременно выполнить следующие требования:

- поэлементные требования, т. е. довести приведенные сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций до величины не менее нормируемых значений;
- обеспечить нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания;
- санитарно-гигиеническое требование, согласно которому температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений.

Таким образом, для данной категории зданий повышение энергетической эффективности может идти по пути поиска энергосберегающих решений в инженерных системах зданий, в частности систем отопления, при условии обеспечения нормируемой температуры внутреннего воздуха. Проект капитального ремонта системы отопления определяет величину выделенной тепловой нагрузки на здание для заключения договора с теплоснабжающей организацией.

Известно, что для проектирования системы отопления необходимо знать помимо объемно-планировочных данных объекта теплотехнические характеристики ограждающих конструкций. Результаты исследований, представленные в работе [85] на основе натурных, лабораторных и численных экспериментов по определению коэффициентов теплопроводности кирпича и сопротивления теплопередаче кирпичной кладки, позволили выполнить анализ теплопотребления жилыми домами дореволюционной постройки. Значение коэффициента теплопроводности кирпича керамического в сухом состоянии по результатам испытаний при средней плотности  $1956 \text{ кг/м}^3$  составляет  $0,57 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Для современного аналогичной структуры кирпича керамического в су-

### 3.2. Методика определения тепловых нагрузок помещений жилых зданий

хом состоянии плотностью  $1800 \text{ кг/м}^3$  коэффициент теплопроводности составляет  $0,55 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Известно, что для оценки энергопотребления здания используются удельные характеристики расхода тепловой энергии,  $\text{Вт/(м}^3\cdot\text{К)}$ , зависящие от назначения, площади и этажности объекта. На основе сравнения с нормативными величинами данные характеристики определяют не только класс энергосбережения, но и выбор проектных решений инженерных систем здания.

## **3.2. Методика определения тепловых нагрузок помещений жилых зданий**

Параметры микроклимата в помещении определяют выбор состава, расчета и работы систем отопления и вентиляции. Микроклимат формируется такими составляющими, как температура, относительная влажность и подвижность воздуха в помещении, их распределение в помещении, а также потоки лучистой теплоты. В небольших помещениях температуру воздуха в разных точках можно считать равными. Так же равными можно считать температуры характерных поверхностей.

Составляющими теплового баланса помещения при расчете требуемых нагрузок на систему отопления являются:

- $Q_{\text{тр}}$  – трансмиссионные потери теплоты через ограждающие конструкции;
- $Q_{\text{в}}$  – количество теплоты, необходимое на нагрев наружного воздуха;
- $Q_{\text{с.о}}$  – теплопоступления от элементов системы отопления;
- $Q_{\text{быт}}$  – бытовые теплопоступления, включающие все источники тепла, кроме элементов системы отопления.

Количество теплоты, необходимое для поддержания заданных температур в каждом из помещений, находится из уравнения теплового баланса:

$$Q_{\text{тр}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{с.о}} + Q_{\text{быт}} = 0. \quad (23)$$

Тепловой поток через ограждающие конструкции осуществляется за счет теплопроводности в материалах конструкции, а также конвекции и излучения на наружной и внутренней поверхностях.

Согласно [83], приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции находится с учетом потерь теплоты через линейные и точечные неоднородности. В зданиях дореволюционной постройки с неутепленными кирпичными стенами такие неоднородности вызваны геометрией конструкций – оконными откосами, угловыми стыками и т. п. Также неоднородность сопротивления теплопередаче может быть вызвана местами разрушения и повреждения ограждений, которые выявляются при обработке термограмм конструкций.

Количество тепла на нагрев наружного воздуха находится по формуле

$$Q_v = Gc\rho(t_v - t_n), \quad (24)$$

где  $G$  – количество поступающего в помещение наружного воздуха, кг/с;  $c$  – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К);  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Теплопотери за счет теплопередачи рассчитываются поэлементно для всех наружных ограждающих конструкций:

$$Q_{отр} = K \cdot A \cdot (t_v - t_n) \cdot n \cdot (1 + \sum \beta), \quad (25)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $A$  – площадь элемента, м<sup>2</sup>;  $t_v, t_n$  – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °С;  $n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху [84];  $\beta$  – коэффициент, учитывающий добавочные потери теплоты.

Расчетная величина удельных бытовых тепловыделений  $Q_{быт}$  может принимать разные значения в зависимости от принятых рекомендаций либо расчетов. Нормативные требования устанавливают ее величину в расчетах не менее 10 Вт/м<sup>2</sup> площади жилых по-

мещений. Согласно рекомендациям [83], эта величина может быть принята в зависимости от плотности заселения.

При создании проекта системы отопления теплотери рассчитываются для всех отапливаемых помещений здания, а также дополнительных потерь теплоты в неотапливаемых помещениях и участками стен за отопительными приборами. Дополнительные потери теплоты нормативно ограничены величиной 7 % от расчетной общей нагрузки.

### 3.3. Общие сведения о теплотреблении ДОХОДНЫХ ДОМОВ

Для всех исследуемых доходных домов дореволюционной постройки в рамках реализации программы капитального ремонта были проведены натурные исследования характеристик ограждающих конструкций и инженерных систем.

Рассмотренные объекты охватывают доходные дома различной геометрии (здания протяженные и башенного типа), различной этажности (от двух до шести этажей), с разным составом этажей, расположенные в разных районах (рис. 80).

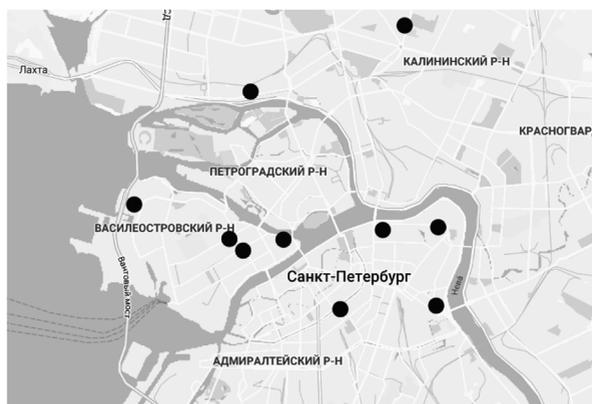


Рис. 80. Расположение исследованных зданий

Основные строительные показатели сведены в табл. 22.

Таблица 22

**Строительные показатели зданий**

Адрес	Кол-во этажей	Год постройки	Наличие подвала	Наличие чердака
Ул. Савушкина, 35, литера А	2	1916	–	+
13-я линия В. О., 58–60, литера Б	2	1917	–	+
Наб. р. Фонтанки, 90, корп. 3, литера В	3	1806	–	+
Политехническая ул., 29, корп. 1, литера Е	4	1901	–	+
Ул. Александра Невского, 5, литера Б	4	1917	Под частью здания	+
Ул. Гусева, 6, литера А	4	1917	+	+
Ул. Чайковского, 22, литера А	5	1828	Под частью здания	+
Биржевая линия, 1/1, литера Ж	5	1881	–	+
Московский пр., 18, литера А	5	1884	Под частью здания	+
9-я линия В. О., 72, литера Б	5	1917	–	+
Тверская ул., 14, литера Б	6	1908	+	+

При расчетах величины характеристик определяются по паспорту здания, а также по результатам актуальных натурных обследований и расчетов согласно представленным архитектурным планам и проектам инженерных систем. Источником теплоснабжения в данных зданиях является, как правило, тепловой пункт. Тепловой пункт расположен либо непосредственно в отапливаемом здании, либо в соседнем (так называемое подключение дома

«на сцепке»). Подключение к городской тепловой сети осуществляется либо через нерегулируемый гидроэлеватор, либо с помощью узла смешения с насосом. Погодозависимое регулирование, как правило, отсутствует, что не позволяет эффективно управлять температурами теплоносителя.

Практически все тепловые пункты оборудованы приборами учета тепловой энергии. Но при подключении нескольких домов к единому коллектору в тепловом пункте (дома «на сцепке») не производится индивидуальный учет потребленной тепловой энергии по нескольким адресам.

Расчетные параметры прямого и обратного теплоносителя – 95/70 °С. Данные значения не всегда выполняются по причине отсутствия регулирования температур подающего и обратного теплоносителя в ИТП, а также из-за несоответствия температуры подающего теплоносителя в теплосети.

Согласно текущей политике Фонда капитального ремонта, реконструкции не подлежат индивидуальные тепловые пункты зданий с нагрузкой, менее 0,2 Гкал/ч.

Выделенная тепловая нагрузка на здание не может быть использована в качестве фактической величины при определении теплотерь здания и нахождении требуемого теплоснабжения систем отопления. Отсюда возникает необходимость корректировки договорных величин теплоснабжения. Потому актуальным остается определение теплоснабжения реконструируемых жилых зданий и после проведения проектно-монтажных работ.

Величина фактического теплоснабжения, найденная по данным приборов учета теплоты в ИТП, может служить для сравнения с найденной величиной требуемого теплоснабжения здания. Получить данные о теплоснабжении здания при расчетной температуре воздуха сложно, потому как такая температура может не наступить в период проведения обследования. Также сложно привести теплоснабжение здания при заданной температуре воздуха к расчетному, потому что здание и система отопления обладают достаточной инерцией. К тому же, учитывая ограниченные сроки исполнения контрактов по обследованию и проектированию при

капитальном ремонте систем отопления, обследования не всегда проводятся в отопительный период.

Принимать результаты натуральных обследований теплотребления здания для расчетов мощности системы отопления реконструируемых зданий не разрешено. Тепловая мощность системы отопления должна расходоваться на компенсацию теплотерь здания для обеспечения расчетной температуры воздуха в каждом отдельном помещении. Но температурный режим помещений может не соответствовать требуемому, так как жильцы могут дополнительно использовать электрические приборы отопления либо осуществлять при перегреве помещений частые проветривания и перекрывание потока теплоносителя в отопительные приборы. Могут иметь место и большие потери теплоты в неотапливаемых помещениях из-за недостаточной изоляции трубопроводов.

Значение расчетной нагрузки системы отопления зафиксировано в договоре теплоснабжения. Актуализация данного значения для зданий является необходимым действием при создании проекта вновь проектируемой системы.

Анализ теплотребления зданиями, выполненный в [63], позволяет выявить основные исторические различия в этом направлении, что необходимо учитывать вследствие особенностей современной жизнедеятельности, связанной с более интенсивным поступлением влаги и одновременным снижением интенсивности проветривания помещений. Для «традиционных» зданий характерно следующее:

- иная технология возведения зданий из проницаемых материалов, пористость которых помогла сохранить многие здания в хорошем состоянии;
- использование обогрева только обитаемых помещений, а не всего здания;
- использование тепловой аккумуляции массивами конструкций;
- применение традиционных методов энергосбережения (ставни, внутренние двери);

- низкая эффективность системы отопления с местным регулированием для традиционного здания с относительно небольшим количеством изоляции и высокой тепловой массой;
- низкая эффективность использования современных бытовых систем отопления с таймерами, которые включают отопление на время утром, а затем снова вечером, что подходит для современного здания с низкой тепловой массой.

Для обеспечения долговечности старинных зданий и необходимого состояния микроклимата в них предлагается помимо изложенных строительных мероприятий (восстановление первоначальных гигротермических характеристик, установка «вторичного» остекления и т. д.):

- обеспечивать более экономичное изменение режима отопления в соответствии с естественным временем теплового отклика здания;
- использовать наиболее совершенные и гибкие системы управления отоплением, например с применением высокоэффективных конденсационных котлов, управление которыми относительно гармонично с традиционной конструкцией зданий;
- применять современные комбинированные малогабаритные энергетические системы с возобновляемыми источниками энергии (солнечные батареи, ветрогенераторы, геотермальные и воздушные тепловые насосы).

### **3.4. Расчетные показатели энергосбережения зданий**

Показатели энергосбережения зданий рассчитываются в соответствии с [83]. Впервые термин «удельная тепловая характеристика здания» ввел В. М. Чаплин в конце XIX – начале XX вв. [50]. Но он относил ее к наружному объему. Согласно [83], в расчетах используется удельная тепловая характеристика здания, отнесенная к  $1 \text{ м}^3$  внутреннего объема.

При расчетах использованы результаты натурных исследований 11 жилых зданий дореволюционной постройки (с 1806 по 1917 г.), проведенные в течение 2017–2018 гг. [153].

На общий коэффициент теплопередачи здания влияют геометрические особенности, значения коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций и тепловой режим помещений по обе стороны для отдельных ограждающих конструкций оболочки здания. При этом большее влияние на это будут оказывать коэффициенты сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Удельные характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию определяются по формуле

$$q_{от}^p = \left[ k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot v \cdot \xi \right] \cdot (1 - \xi) \cdot \beta_h, \quad (26)$$

где  $k_{об}$  – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м<sup>3</sup>·К);  $k_{вент}$  – удельная вентиляционная характеристика здания, учитывающая количество поступающего в здание наружного воздуха за счет вентиляции и инфильтрации, организацию притока воздуха, характеристики воздухопроницаемости элементов оболочки здания;  $k_{быт}$  – удельная характеристика бытовых тепловыделений;  $k_{рад}$  – удельная характеристика теплоступлений в здание от солнечной радиации;  $v$  – коэффициент снижения теплоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций;  $\xi$  – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления, учитывает тип и оснащение систем теплоснабжения и внутридомового отопления;  $\beta_h$  – коэффициент, учитывающий дополнительное теплотребление системы отопления в зависимости от показателей системы отопления и геометрических характеристик здания.

Удельная теплозащитная характеристика здания зависит от показателей теплозащитной оболочки здания с учетом индивидуально всех ее элементов:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \cdot \sum_i \left( n_{t,i} \cdot \frac{A_{ф,i}}{R_{о,i}} \right) = K_{комп} \cdot K_{общ}, \quad (27)$$

#### 3.4. Расчетные показатели энергосбережения зданий

где  $V_{от}$  – отапливаемый объем здания, м<sup>3</sup>;  $A$  – площадь ограждающих конструкций, м<sup>2</sup>;  $R_0^{пр}$  – приведенный коэффициент сопротивления теплопередаче, (м<sup>2</sup> · °C)/Вт;  $K_{комп}$  – коэффициент компактности;  $K_{общ}$  – общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м<sup>2</sup> · °C).

Отсюда коэффициент компактности

$$K_{комп} = \frac{A_H^{сум}}{V_{от}} = \frac{1}{A_H^{сум}} \cdot \sum_i \left( n_{t,i} \cdot \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{пр}} \right), \quad (28)$$

где  $A_H^{сум}$  – суммарная площадь ограждающих конструкций, м<sup>2</sup>.

В расчетах приняты здания простой конфигурации, площадь этажа которых не меняется по высоте.

Объем здания в общем случае определяется как

$$V_{от} = S_{эт} \cdot H_{от}, \quad (29)$$

где  $S_{эт}$  – площадь этажа, м<sup>2</sup>;  $H_{от}$  – высота отапливаемого объема, м.

Площадь ограждающих конструкций в общем случае определяется по формуле

$$A_{\phi} = P_{от} \cdot H_{от} + 2 \cdot S_{эт}, \quad (30)$$

где  $P$  – периметр отапливаемого объема, м.

Коэффициент компактности определяется как

$$K_{комп} = \frac{A_{\phi}}{V_{от}}. \quad (31)$$

Для исследуемых зданий результаты определения коэффициента компактности сведены в табл. 23 [153], а в табл. 24 представлен анализ результатов расчета коэффициента компактности в сравнении с данными предыдущего издания [83].

## Коэффициент компактности зданий

Адрес	Площадь этажа $S_{эт}$ , м <sup>2</sup>	Высота отапливаемого объема, $H_{от}$ , м	Периметр этажа, $P_{от}$ , м	Отапливаемый объем, $V_{от}$ , м <sup>3</sup>	Площадь ограждающих конструкций $A_{ф}$ , м <sup>2</sup>	Коэффициент компактности
Ул. Савушкина, 35, литера А	265,20	6,50	65,50	1723,80	956,15	0,55
13-я линия В. О., 58–60, литера Б	327,50	10,00	104,70	3275,00	1702,00	0,52
Наб. р. Фонтанки, 90, корп. 3, литера В	1326,20	8,60	315,80	11 405,32	5368,28	0,47
Политехническая ул., 29, корп. 1, литера Е	1754,20	11,40	332,30	19 997,88	7296,62	0,36
Ул. Александра Невского, 5, литера Б	134,10	12,40	49,70	1427,64	856,76	0,60
Ул. Гусева, 6, литера А	242,20	14,30	67,60	3463,46	1451,08	0,42
Ул. Чайковского, 22, литера А	1411,30	18,40	344,50	24 974,68	9023,00	0,36
Биржевая линия, 1/1, литера Ж	621,90	20,50	122,60	11 382,39	3688,34	0,32
Московский пр., 18, литера А	1400,20	16,00	282,40	18 934,81	6689,96	0,35
9-я линия В. О., 2, литера Б	231,30	16,90	68,60	3908,97	1621,94	0,41
Тверская ул., 14, литера Б	263,20	20,40	67,10	5369,28	1895,24	0,35

## Сравнение коэффициентов компактности

Наименование коэффициента	Этажность здания				
	2	3	4	5	6
Фактический	0,52–0,55	0,47	0,3–0,6	0,32–0,41	0,35
Нормируемый	0,9	0,54	0,43	0,36	0,32

Однако оценка формы здания при помощи коэффициента компактности (показателя компактности), как отмечено в работе [131], не всегда приводит к энергоэффективному решению. Тем не менее геометрические характеристики используются для сравнительных анализов. Помимо этого коэффициента применяется коэффициент эффективности использования объема здания по высоте – отношение отапливаемого объема к общей площади здания или отношение строительного объема к площади застройки. Этот коэффициент является характеристикой приведенной высоты здания (учет высоты этажа здания). Также используется термин «компактность плана здания» как усеченная форма объемной компактности. Коэффициент компактности здания в плане – отношение длины наружного периметра здания к общей площади или к площади застройки здания. В этом смысле максимально компактным будет здание, имеющее план, приближающийся к форме круга или квадрата. Различие толщины наружных стен для разных этажей здания обуславливает изменение необходимых к применению в расчетах коэффициентов сопротивления теплопередаче в пределах  $\approx 1,03 - 1,35$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ). При этом при равной высоте этажа для зданий разной этажности получено следующее соотношение площадей наружных стен различной толщины и среднее значение сопротивления теплопередаче стен (табл. 25).

**Среднее значение коэффициента сопротивления теплопередаче  
для доходных домов различной этажности**

Количество этажей	Площадь стен толщиной 2,5 кирпича, %	Площадь стен толщиной 3 кирпича, %	Площадь стен толщиной 3,5 кирпича, %	$R_{ср}$ , ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт
1	100,0	0,0	0,0	1,03
2	100,0	0,0	0,0	1,03
3	66,7	33,3	0,0	1,08
4	50,0	50,0	0,0	1,11
5	40,0	40,0	20,0	1,16
6	33,3	33,3	33,3	1,19

Следующий важный фактор – наличие / отсутствие отапливаемых подвала и чердака. Расчет теплотерь помещений над неотапливаемым подвалом производится с учетом температуры внутреннего воздуха. Расчетная разность температур в этом случае снижается в 2–3 раза [90] по сравнению с помещениями, граничащими с наружным воздухом. Перекрытия, как правило, выполняются толщиной 0,35–0,4 м для деревянных и металлических балок и 0,2–0,3 – для железобетонных. При этом не включается слой утеплителя, который характеризуются низким значением сопротивления теплопередаче, менее 1 ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт. Как видно из табл. 24, коэффициент компактности для зданий дореволюционной постройки достаточно близок к современным требованиям для этого коэффициента, за исключением 2-этажных зданий.

Значения сопротивления теплопередаче для полов на грунте составляет от 2,1 до 14,2 ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт. Наличие помещений с такими полами приводит к снижению общего коэффициента теплопередачи здания.

На рис. 81 представлена зависимость среднего коэффициента сопротивления теплопередаче от коэффициента компактности доходных домов.

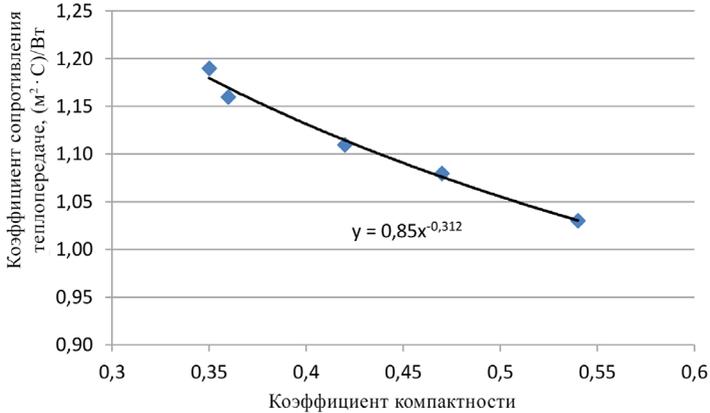


Рис. 81. Зависимость коэффициента сопротивления теплопередаче от коэффициента компактности исследуемых доходных домов

Как известно, любая задача теплопроводности начинается с анализа критерия Био:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda}, \quad (32)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стенки, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\delta$  – толщина стенки, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности стенки, Вт/(м·К).

Критерий (число) Био характеризует стационарный теплообмен между нагретым или охлажденным твердым телом и окружающей средой. На рис. 82 представлена зависимость среднего коэффициента сопротивления теплопередаче от числа  $Bi$ , при этом в качестве толщины стенки принята средняя толщина кирпичной кладки в зависимости от высоты здания.

### 3. Показатели энергосбережения доходных домов дореволюционной...

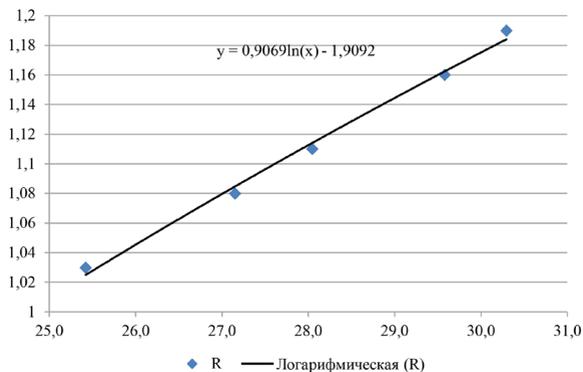


Рис. 82. Зависимость коэффициента сопротивления теплопередаче  $R$  от критерия  $V_i$

Существенное влияние на общий коэффициент теплопередачи здания оказывает коэффициент остекленности фасадов. Повышение этого значения приводит к увеличению коэффициента теплопередачи здания [154]. При проведении обследований зданий выполнены измерения размеров оконных и дверных проемов. Результаты нахождения процента остекленности зданий показаны на рис. 83.

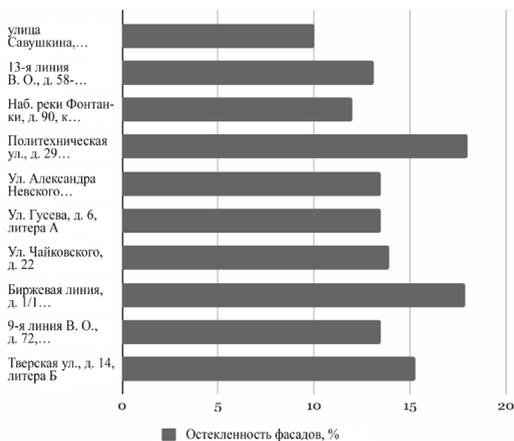


Рис. 83. Коэффициент остекленности фасадов зданий

### 3.4. Расчетные показатели энергосбережения зданий

Требуемая величина удельной теплозащитной характеристики здания не должна превышать установленных значений в зависимости от величины градусо-суток отопительного периода (ГСОП) и отапливаемого объема здания как наибольшая из величин:

$$k_{об}^{тр} = \frac{4,74}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} \text{ при } V_{от} \geq 960 \text{ м}^3;$$

$$k_{об}^{тр} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot ГСОП + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} \text{ при } V_{от} > 960 \text{ м}^3; \quad (33)$$

$$k_{об}^{тр} = \frac{8,5}{\sqrt{ГСОП}}.$$

Сравнение расчетных и требуемых величин удельной теплозащитной характеристики зданий приведено на рис. 84.

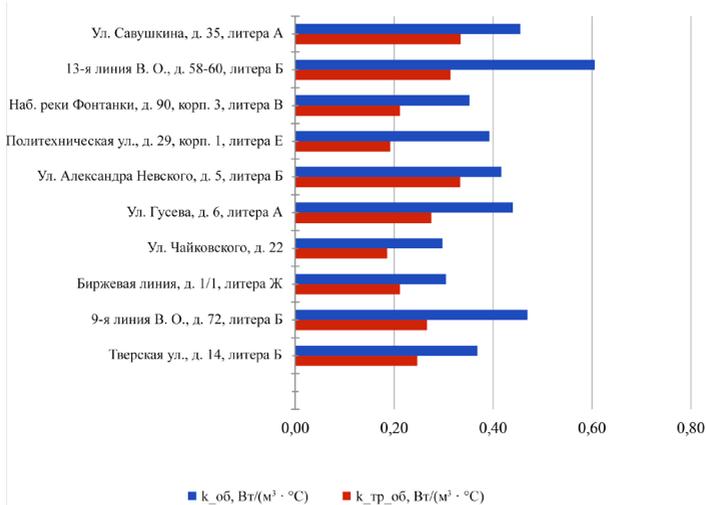


Рис. 84. Сравнение расчетных и требуемых величин удельной теплозащитной характеристики зданий

Все исследуемые здания характеризуются пониженными значениями величин удельной теплозащитной характеристики от 36 до 103 %. Основной причиной является несоответствие конструкций стен современным условиям нормирования тепловой защиты.

Хотя данная характеристика учитывает геометрические характеристики зданий, ее величина не зависит от количества и высоты этажей и таким образом не указывает на повышенное потребление тепловой энергии отдельными помещениями.

На рис. 85 приведена зависимость удельной теплозащитной характеристики зданий от коэффициента компактности ( $K_{\text{комп}}$ ) и коэффициента сопротивления теплопередаче ( $R$ ).

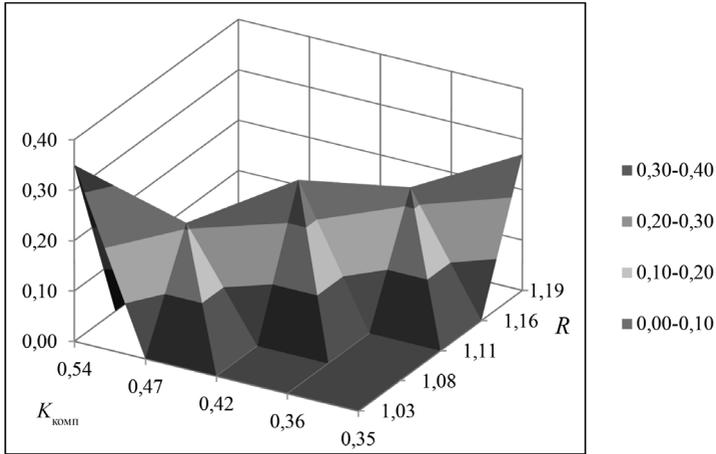


Рис. 85. Зависимость удельной теплозащитной характеристики зданий от коэффициента компактности ( $K_{\text{комп}}$ ) и коэффициента сопротивления теплопередаче ( $R$ )

Показателем, который комплексно учитывает эффективность потребления зданием тепловой энергии, является  $q_{\text{от}}^p$ , Вт/( $\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ ) – удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, определяемая по формуле 26.

Коэффициент уменьшения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций определяется по формуле

$$\nu = 0,7 + 0,000025 (\text{ГСОП} - 1000). \quad (34)$$

По результатам проведенных при реализации программы капитального ремонта обследований зданий бывших доходных домов выявилось, что практически повсеместно данные здания оснащены однотрубными стоячковыми системами отопления с верхним расположением подающей и нижним – обратной магистрали. Остальные возможные типы могут встречаться в отдельных зданиях. Такой тип расположения стояков не позволяет построить систему другого типа, так как это требует получения возможности прокладки новых трубопроводов во всех квартирах здания и получения доступа в них работников, что невозможно на практике реализовать без расселения жильцов на время проведения ремонта. Совершенствование системы достигается за счет установки на радиаторах и стояках регулирующих устройств. Значения коэффициента  $\xi$  (коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления, который учитывает тип и оснащение систем теплоснабжения и внутридомового отопления) приведено на рис. 86 и для вновь проектируемых систем составляет  $\xi = 0,9$ .

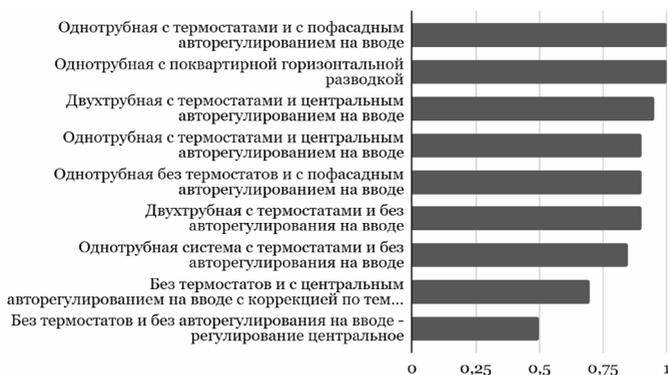


Рис. 86. Значение коэффициента  $\xi$

### 3. Показатели энергосбережения доходных домов дореволюционной...

Результаты определения коэффициента  $\beta_n$ , учитывающего дополнительное теплотребление системы отопления в зависимости от показателей системы отопления и геометрических характеристик здания, приведены на рис. 87.

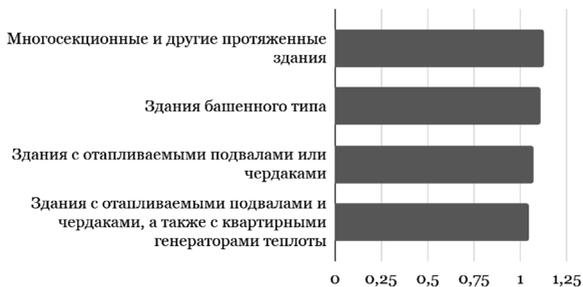


Рис. 87. Значения коэффициента  $\beta_n$

Значения удельной вентиляционной характеристики здания приведены на рис. 88.

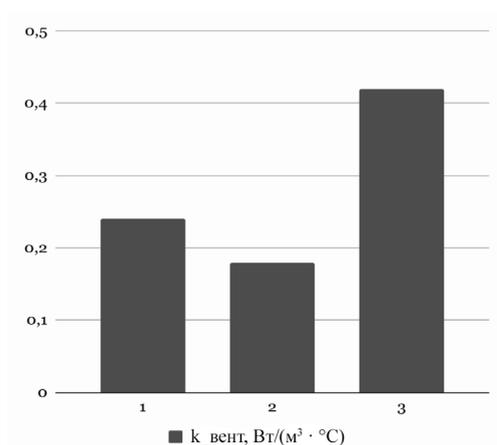


Рис. 88. Значение удельной вентиляционной характеристики:  
1 – для жилой части здания; 2 – для арендуемой части здания с офисами и супермаркетами; 3 – для арендуемой части здания с ресторанами и кафе

Удельная вентиляционная характеристика определяется в зависимости от объема поступающего в помещения приточного  $L_{\text{вент}}$  и инфильтрационного  $G_{\text{инф}}$  воздуха. Для жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее  $20 \text{ м}^2$  при общей площади на человека как  $L_{\text{вент}} = 3 \cdot A_{\text{ж}}$ . Для общественных и административных зданий принимается условно в зависимости от назначения помещений  $L_{\text{вент}} = (4 \sim 10) A_{\text{ж}}$ .

Количество инфильтрационного воздуха для жилых зданий определяется как поступающего на лестничную клетку; для общественных и административных зданий в нерабочее время как

$$G_{\text{инф}} = (1 \sim 2) \cdot \beta_v \cdot V_{\text{общ}}. \quad (35)$$

Расчетные удельные расходы на отопление и вентиляцию доходных домов составляют от 0,50 до 0,92 Вт/(м<sup>3</sup>·К). Учитывая современный показатель нормативного значения удельного расхода на отопление и вентиляцию 0,32–0,41 Вт/(м<sup>3</sup>·К), данные здания можно было бы отнести к классам энергосбережения D и E [83], требующим проведения реконструкции при соответствующем экономическом обосновании.

Данные расчетов удельных характеристик бытовых тепловыделений и теплопоступлений в здание от солнечной радиации, отражающих влияние проектных решений архитектурных конструкций и инженерных систем и, соответственно, капитальных и эксплуатационных затрат, приведены на рис. 89 в сравнении с другими удельными характеристиками.

Сравнение данных для зданий дореволюционной постройки с результатами расчетов по современным нормативным документам показывает существенно более низкие фактические теплозащитные характеристики исследуемых зданий. Результаты расчета удельных расходов на отопление и вентиляцию доходных домов в сравнении с нормативными данными для современных зданий приведены на рис. 90.

### 3. Показатели энергосбережения доходных домов дореволюционной...

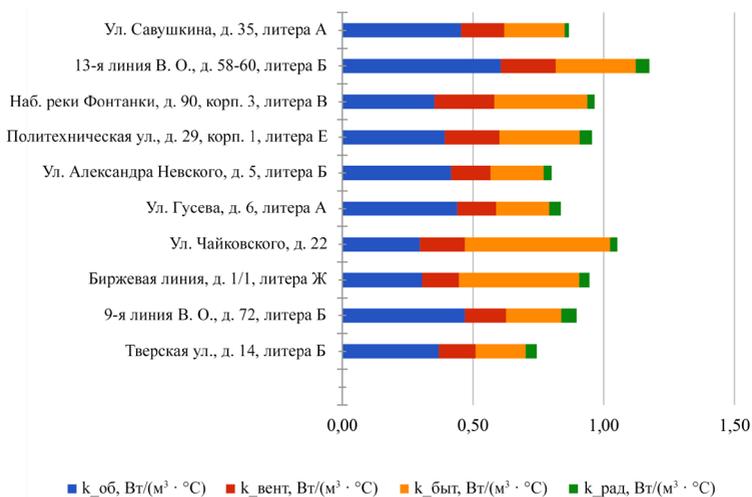


Рис. 89. Удельные характеристики здания: теплозащитная, вентиляционная, бытовых тепловыделений, тепlopоступлений от солнечной радиации

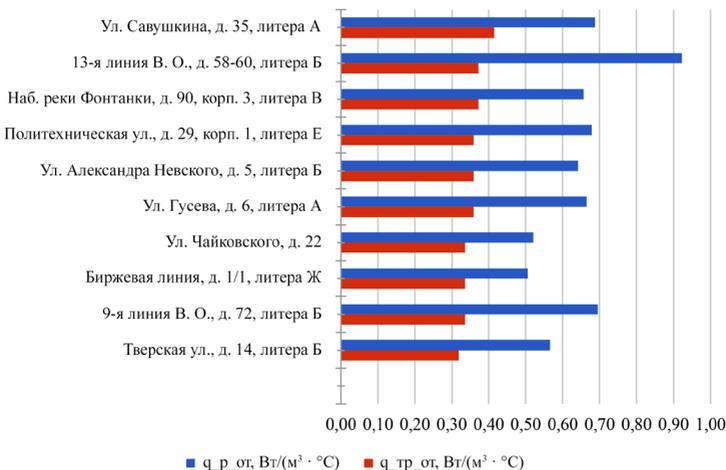


Рис. 90. Сравнение расчетного и нормативного значений удельного расхода на отопление и вентиляцию зданий

### 3.4. Расчетные показатели энергосбережения зданий

Абсолютная величина расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период  $Q_{от}^{год}$ , (кВт · ч)/год, может быть определена по формуле

$$Q_{от}^{год} = 0,24 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot q_{от}^p, \quad (36)$$

где  $V_{от}$  – отопляемый объем здания, включает в себя в общем случае объемы  $V_{от1}$ ,  $V_{от2}$ ,  $V_{от3}$  – соответственно жилой части, общественных и технических помещений.

Результаты расчета отопляемого объема приведены на рис. 91, расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период – на рис. 92.

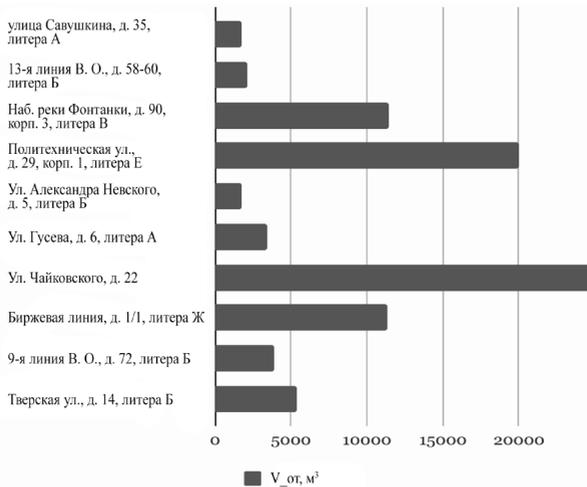


Рис. 91. Отопляемый объем зданий

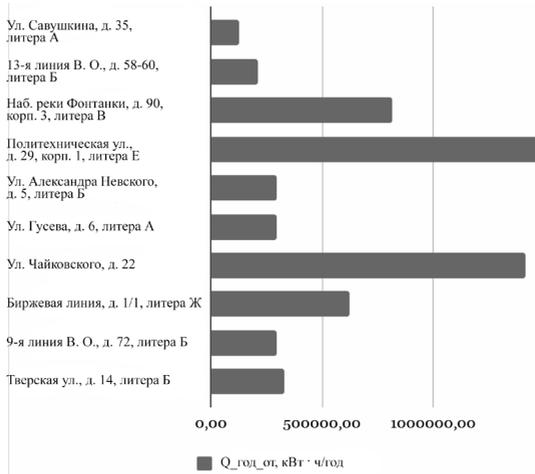


Рис. 92. Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период

### 3.5. Особенности проектирования систем отопления при капитальном ремонте инженерных систем доходных домов

Результаты исследований показывают, что основным потребителем энергии остаются системы отопления – около 62 % от общего энергопотребления. На ремонт внутридомовых инженерных систем направляется около 50 % от общего объема средств, идущих на реализацию программы капитального ремонта.

Основной причиной перерасхода тепловой энергии на отопление является несоответствие параметров теплоносителя в системе отопления температуре окружающего воздуха. При этом успех применения энергоэффективных мероприятий невозможен без обоснованного расчета требуемой теплопроизводительности систем отопления. Система организации капитального ремонта и имеющиеся методики проведения обследования зданий не ре-

### 3.5. Особенности проектирования систем отопления при капитальном...

шают проблем нахождения теплотребления зданий и вызывают значительные сложности для проектирования энергоэффективных систем отопления.

Проведению капитального ремонта предшествует обследование и мониторинг системы отопления в соответствии с требованиями ГОСТ 31937–2011 [155]. При комплексном обследовании технического состояния здания объектами обследования являются конструкции и их элементы, технические устройства, оборудование и сети и направлено на оценку их технического состояния [156].

Определение теплотехнических показателей наружных ограждающих конструкций включают работы:

- определение мест с дефектами, такими как: промерзание и отсыревание стен, низкая температура воздуха, протечки и т. д. и инструментально-визуальное обследование данных мест (рис. 93);
- выборочное определение сопротивления теплопередаче при низких температурах (минус 10 и ниже, °С) наружного воздуха (рис. 94);
- измерение объемов вытяжки из кухонь и санузлов [157];
- измерение температуры и скорости наружного воздуха;
- отбор проб и материалов из дефектных и недефектных мест ограждающих конструкций;
- расчеты влажностного режима ограждающих конструкций;
- расчеты температурных полей узлов сопряжений ограждающих конструкций;
- тепловизионная съемка наружных стен (рис. 77);
- расчеты приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен.



Рис. 93. К определению дефектных участков

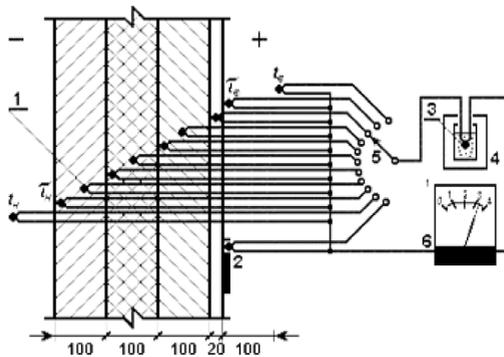


Рис. 94. Схема размещения термомпар на испытываемой ограждающей конструкции и подключения их к измерительной аппаратуре:  
1 – рабочие спаи термомпар; 2 – холодный спай термомпар;  
3 – преобразователь теплового потока; 4 – многоточечный переключатель;  
5 – измерительный прибор; 6 – термостат (сосуд Дьюара)

Методики определения эксплуатационного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций содержатся в соответствующих нормативных документах [77, 78, 80–82, 89], частично ранее описанных. На рис. 94 приведена схема размещения термомпар в ограждающей конструкции для измерения температур на поверхности отдельных слоев.

Представленные в данных нормативных документах методы определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций несут в себе ряд проблем и не могут быть приняты в существующую практику проведения работ по капитальному ремонту инженерных систем без отселения жильцов, так как заключают в себе ряд временных, материальных и практических проблем.

Обследование же конструкций на практике заключается лишь в проведении геометрических измерений без нахождения реальных теплотехнических характеристик, необходимых для расчета нагрузок на систему отопления.

При сокращении объемов обследования заказчик сам несет ответственность за низкую достоверность результатов обследования.

На этапе обследования в связи с практическим отсутствием технической документации необходимо определить объемно-планировочные параметры здания, воссоздать трассировку системы отопления. Здания в результате долгой эксплуатации многократно перестраивались. Восстановление и реконструкция разрушенных зданий увеличили разнообразие материалов конструкций.

Перестройка и изменение внутренних стен, изменение габаритов дверных и оконных проемов (чаще всего во встроенных помещениях первых этажей зданий) не позволяют использовать даже полученные в конце прошлого века планы зданий.

Как правило, такие здания оборудованы однотрубными системами отопления с верхней разводкой подающей магистрали. Из-за многочисленных перепланировок имеет место хаотичное размещение отопительных приборов самых разнообразных типов со значительным запасом по поверхности нагрева. В домах с однотрубной системой это приводит к тому, что в отопительные приборы нижних этажей поступает теплоноситель с низкими параметрами. Перепланировка нижних этажей под торговые, офисные и другие общественные помещения также приводит к нарушению гидравлического и теплового режима зданий. И если во встроенных помещениях первых этажей обычно можно получить информацию по установленным приборам, то получить доступ в квартиры не всегда представляется возможным. Иначе говоря, при такой организации обследования проектировщик не будет иметь полной достоверной информации, что повлияет на качество проекта. Правовое решение доступа к общедомовому имуществу при обследовании и монтаже систем сложно из-за сокращенных сроков проектирования и монтажа. Данный вопрос не отражен в соответствующих нормативных документах.

Методика проведения обследования включает в себя применение проектной документации на здание, которая практически отсутствует для описываемых доходных домов. Таким образом, обычно работы начинаются с восстановления поэтажных планов, что должно выполняться в настоящее время с использованием

ВИМ-технологий [158]. Планы создаются путем визуального осмотра, фотофиксации и геометрических измерений. При этом определяются фактические размеры наружных стен, оконных проемов, тип заполнения оконных проемов.

Для оценки фактических потерь теплоты через системы вытяжной вентиляции, согласно методике [157], определяют при отсутствии схем естественной вентиляции:

- тип каналов, при наличии приставных каналов (воздуховодов) их размеров; герметичность; наличие совмещенных или раздельных вентиляционных каналов;
- конструктивное устройство вентиляционных шахт в пределах чердака или на крыше;
- размеры вентиляционных решеток;
- наличие дополнительного оборудования в вентиляционных каналах (вытяжных зонтов над кухонным оборудованием, канальных вентиляторов);
- видимые устранимые дефекты, которые должны быть исправлены до начала испытаний.

Испытания проводятся при разности температур внутренне-го и наружного воздуха не менее 13 °С.

Для измерений скорости движения воздуха в вентиляционных решетках используют анемометры или термоанемометры. Выбирают вентиляционные решетки на первом и последнем этажах, а также на нескольких промежуточных через 1–2 этажа. После измерений на оголовках каналов сравнивают результаты суммарных расходов. Количество систем естественной вентиляции, подвергаемых испытаниям, выбирают по согласованию с заказчиком. Обработку результатов испытаний осуществляют по [157, 159].

С конца 1940-х гг. в нашей стране широкое распространение получили однотрубные системы водяного отопления, как уже указывалось ранее. В настоящее время такими системами оборудовано большинство доходных домов дореволюционной постройки. В основном в Санкт-Петербурге среди этой категории жилых домов преобладают системы с верхней разводкой магистральных

трубопроводов. Разновидностей систем достаточно много, схема одной из них приведена на рис. 95.

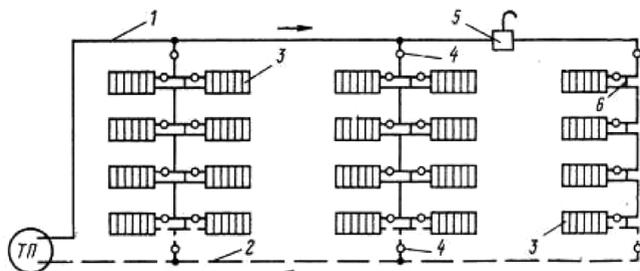


Рис. 95. Схема однотрубной вертикальной системы отопления с верхней разводкой со смещенными замыкающими участками:

- 1 – подающий трубопровод; 2 – обратный трубопровод;
- 3 – нагревательные приборы; 4 – вентили, краны;
- 5 – воздухоотборник с воздуховыпускным краном;
- 6 – смещенные замыкающие участки; ТП – тепловой пункт

Крайне редко в доходных домах использована двухтрубная система отопления с верхней разводкой (рис. 96).

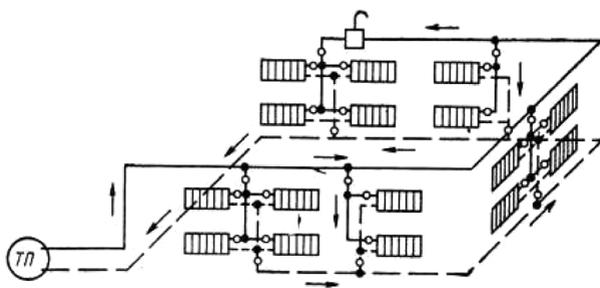


Рис. 96. Схема двухтрубной вертикальной системы отопления с верхней разводкой

Как правило, в однотрубных системах отсутствует возможность не только индивидуального регулирования теплоотдачи отопитель-

ных приборов, но и индивидуального учета теплоты, расходуемой на отопление того или иного помещения (или группы помещений). Связано это с техническим уровнем создания таких систем в доходных домах в конце 1930-х – начале 1960-х гг. Как отмечено в работе [156], одним из преимуществ однотрубных систем отопления является минимальная металлоемкость по сравнению с двухтрубными, что было особенно важно в послевоенный период. Во-вторых, они оказались гидравлически более устойчивыми по сравнению с двухтрубными, особенно при низких значениях наружной температуры воздуха, что также характерно для России. В-третьих, именно эти системы позволили обеспечить максимальную индустриализацию их изготовления на заготовительных предприятиях.

В процессе обследования здания определяются тип системы отопления, схема разводки, способ присоединения к системе теплоснабжения, особенности подключения системы горячего водоснабжения, типоразмеры и размещение отопительных приборов, места прокладки трубопроводов и их размеры.

Кроме того, проводится:

- обследование наиболее ответственных элементов систем (насосы, магистральная запорная арматура, контрольно-измерительная аппаратура, автоматические устройства);
- определение размещения и способа прокладки трубопроводов (открытая или закрытая);
- измерение геометрических параметров конструкций перекрытий, полов, перегородок и стен;
- вскрытие (при необходимости) контрольных участков скрытых трубопроводов;
- составление план-схемы существующей системы теплоснабжения (отопления);
- указание количества участков измерений трубопроводов;
- визуальный контроль фактического состояния трубопроводов;
- выявление повреждений, неисправностей и дефектов (поражение коррозией и свищи магистральных трубопроводов, сто-

### 3.5. Особенности проектирования систем отопления при капитальном...

яков, подводок, отопительных приборов; коррозионное поражение замоноличенных трубопроводов; следы ремонта – хомуты, заплаты, заварка, замена отдельных участков; контруклоны разводящих трубопроводов, капельные течи в местах врезки запорно-регулирующей арматуры, демонтаж и поломка отопительных приборов на лестничных площадках, в вестибюлях; выход из строя системы отопления на лестничных клетках и в вестибюлях; разрушение или отсутствие на отдельных участках трубопроводов теплоизоляции).

При обследовании системы отопления измеряют:

- температуру наружного воздуха (в районе здания);
- температуру воды в подающем трубопроводе тепловой сети (на узле теплового ввода или теплового пункта до смесительного устройства или водоподогревателя);
- температуру воды на обратном трубопроводе тепловой линии (на узле теплового ввода или теплового пункта);
- температуру воды в подающем трубопроводе системы отопления;
- температуру воды на обратном трубопроводе системы отопления;
- температуры поверхности отопительных стояков у верхнего и нижнего оснований (на всех стояках);
- температуры поверхности отопительных приборов (в контрольных помещениях);
- температуры поверхности подводок, подающих и обратных к отопительным приборам (в контрольных помещениях);
- температуры воздуха в отапливаемых контрольных помещениях;
- уклоны разводящих трубопроводов;
- давление в системе: в подающем и обратном трубопроводе тепловой сети (на узле теплового ввода или теплового пункта), в подающем и обратном трубопроводах системы отопления.

Для нахождения нагрузок на систему отопления необходимо воссоздать не только ее трассировку и элементы, но и архитектурно-

строительные чертежи здания с учетом изменений конструкций светопрозрачных конструкций.

В реконструируемых зданиях 30–60 % окон в деревянных переплетах заменены на современные стеклопакеты, обладающие лучшими теплотехническими характеристиками.

Таким образом, подготовка к капитальному ремонту систем отопления жилых зданий является трудоемкой работой, включающей как технические, так и организационные вопросы. В большинстве случаев появляется необходимость корректировки проекта капитального ремонта при монтаже системы отопления.

Обследование системы отопления при капитальном ремонте заключается в определении фактического технического состояния системы, возможности и необходимости размещения определенных типоразмеров новых приборов. В результате воссоздается аксонометрическая схема отопления (рис. 97), на которой указываются номера стояков, тепловые нагрузки на каждый прибор по результатам расчета потерь теплоты, согласно [83], диаметры, арматура.

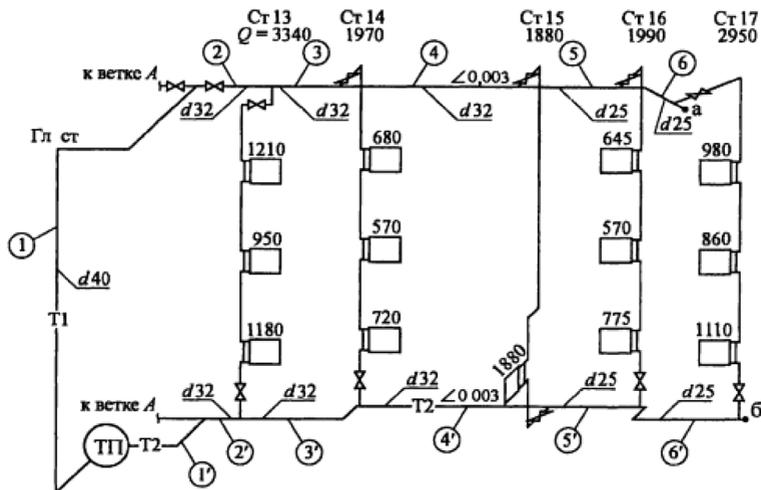


Рис. 97. Пример оформления эскиза системы отопления

### 3.5. Особенности проектирования систем отопления при капитальном...

Разработка проектной документации капитального ремонта системы отопления включает следующие виды работ:

- определение типа, характеристик и состояния системы теплоснабжения;
- определение типов и марок отопительных приборов;
- определение размещения и способа прокладки трубопроводов;
- выявление отклонений в системе от проекта (при его наличии).

В обследуемых зданиях установлены преимущественно чугунные секционные радиаторы (рис. 98), в некоторых помещениях жильцы заменили эти приборы на более новые чугунные или на стальные. В некоторых случаях установлены конвекторы и биметаллические радиаторы. На рис. 98 представлены некоторые типы отопительных приборов, которые устанавливаются при капитальном ремонте доходных домов.

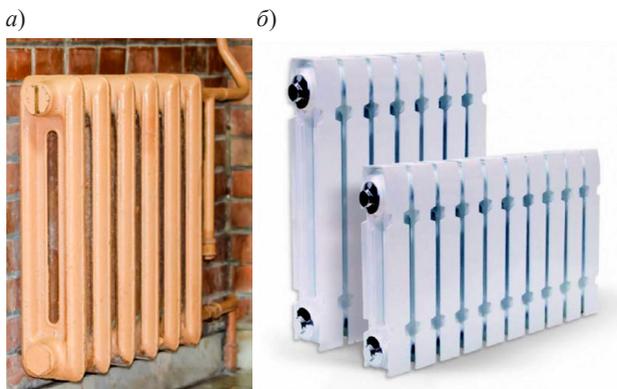


Рис. 98. Начало. Применяемые типы отопительных приборов в доходных домах:

- a* – установленные в доходных домах чугунные радиаторы;
- б* – современные конструкции чугунных радиаторов;
- в* – алюминиевые радиаторы; *г* – стальные радиаторы;
- д* – конвекторы; *е* – конвектор



Рис. 98. Окончание

Чугун – один из самых популярных материалов в системах отопления в России (рис. 98, *а*) вследствие благоприятного соотношения между сравнительно невысокой стоимостью и тепловой мощностью (одна секция имеет тепловую мощность порядка 140 Вт в зависимости от параметров теплоносителя). Преимуществами таких приборов является большая площадь теплоотдающей поверхности и длительный период эксплуатации (подтверждено до 50 лет). Основные недостатки – повышенная металлоемкость, большой вес, большой объем теплоносителя, инерционность нагрева, практическое отсутствие возможности регулирования теплоотда-

чи, трудность ремонта, неудобство очистки поверхностей и непривлекательный внешний вид.

Но, несмотря на большое разнообразие современных отопительных приборов, некоторые жильцы по-прежнему предпочитают современные чугунные радиаторы (рис. 98, б). В настоящее время производители освоили дизайнерские модели чугунных радиаторов.

Использование алюминиевых радиаторов обеспечивает максимально возможную теплоотдачу – мощность секции может достигать 200 Вт (рис. 98, в). Положительные стороны использования алюминиевых радиаторов – небольшой вес, высокая теплоотдача, доступная цена, привлекательный дизайн, высокая надежность. Надежность при высоких давлениях обеспечивается конструктивными особенностями – коллектором круглого сечения и двойным соединением с вертикальными элементами. К недостаткам можно отнести период эксплуатации – не более 25 лет. При изготовлении используют методы лазерной сварки и литья под давлением.

Биметаллические приборы (рис. 98, з) имеют следующую особенность – в конструкции имеется конвекционная панель, обеспечивающая радиационный и конвективный теплообмен, увеличивая теплоотдачу прибора. К их преимуществам можно также отнести небольшой объем теплоносителя, простоту монтажа, повышенную прочность, привлекательный дизайн. Однако эти приборы имеют самую высокую цену по сравнению с другими типами.

Стальной панельный радиатор (рис. 98, д) представляет собой прямоугольную панель из двух сваренных стальных листов с образованием каналов для циркуляции теплоносителя. Несколько таких панелей могут объединяться в пакет. Панельные радиаторы имеют небольшие глубину и малый вес, незначительную тепловую инерцию, значительную площадь теплоотдающей поверхности. К недостаткам можно отнести небольшой срок службы, ограничение по давлению, подверженность внутренней поверхности коррозии. Устанавливают их только при наличии индивидуально-го теплового пункта.

Конвекторы (рис. 98, е) используют для помещений с низким расположением окон. Для работ по капитальному ремонту обычно

применяют конвекторы настенного типа. Достоинство – быстрое нагревание воздуха благодаря конвективному принципу теплообмена в этом приборе, малые габариты и вес, низкая температура внешней поверхности, невысокая стоимость, надежность и т. д. К недостаткам можно отнести повышенные требования к теплоносителю и невысокая теплоотдача.

Согласно письму Минкультуры РФ от 24.03.2015 № 90-01-39-ГП, в случае если работы на объекте культурного наследия проводятся с учетом сохранения его исторически сложившейся конструктивной схемы и объемно-планировочной структуры и связаны только с заменой и (или) восстановлением систем инженерно-технического обеспечения и сетей инженерно-технического обеспечения, а также заменой отдельных элементов несущих строительных конструкций на аналогичные или иные улучшающие показатели таких конструкций элементы, то такие работы относятся к работам по сохранению объектов культурного наследия. Предполагаемые к выполнению работы сводятся к замене существующих сетей (капитальному ремонту) систем теплоснабжения, холодного и горячего водоснабжения и водоотведения и должны проводиться в соответствии с требованиями Федерального закона от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» и Градостроительного кодекса Российской Федерации. Предусмотренные работы относятся к приспособлению объекта культурного наследия для современного использования и выполняются по распоряжению КГИОП.

В качестве примера рассмотрен доходный дом, который представляет собой 3-этажное здание с цокольным этажом и чердаком, построенное в 1917 г. Стены кирпичные, коэффициент теплопередачи  $1,0-1,17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Чердачное перекрытие – деревянное, толщиной 400 мм, утеплено слоем керамзита толщиной 200 мм. Междуэтажные перекрытия – деревянные, толщиной 400 мм. Оконные конструкции деревянные и частично пластиковые. Коэффициенты теплопередачи покрытия 0,79; деревянных окон 0,49; перекрытия  $0,59 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Теплоснабжение здания осуществляется через тепловой пункт соседнего здания, для теплоснабжения предусмотрен один ввод, выполненный на цокольном этаже здания. Температурный график 95–70 °С. Диаметр трубопроводов ввода в здание – Ду 65. Учет тепловой энергии обследуемого здания отсутствует. Согласно договору, выделенная нагрузка теплового пункта составляет 0,2 Гкал. Теплоснабжающая организация – ОАО «ТГК-1». В ходе обследования, а также по данным из акта о разграничении балансовой принадлежности и данным из РГИС были выявлены трубопроводы, проложенные подземно по дворовой территории и под аркой здания.

В здании применена однетрубная система отопления с верхней разводкой с открытой прокладкой подающей и обратной магистрали, соответственно, по чердаку и в цокольном этаже, а также главного стояка. Трубопроводы магистралей и стояков выполнены из стальных водогазопроводных, стальных электросварных, пропиленовых, металлопластиковых трубопроводов.

В качестве отопительных приборов в системе отопления использованы чугунные, биметаллические секционные, стальные панельные радиаторы и полотенцесушители. Приборы установлены открыто под оконными проемами и вдоль стен. Присоединение к стоякам однетрубной системы осуществлено преимущественно без перемычек.

По результатам обследования выявлены: коррозия стальных трубопроводов, следы ремонта отдельными участками, выборочная замена трубопроводов магистралей и стояков, нарушения при прокладке трубопроводов через строительные конструкции и их крепления, неудовлетворительное состояние теплоизоляции трубопроводов, недействующая арматура, физический износ отопительных приборов, несоответствие температурного режима нормативным требованиям [43].

Отсутствует регулировочная арматура, что не позволяет осуществить гидравлическое регулирование и увязку системы, а также устройства автоматического регулирования теплоотдачи радиаторов. Проект на существующую систему отопления в службе

эксплуатации отсутствует, фактические диаметры стояков и магистралей, а также принятых к установке отопительных приборов не подтверждены расчетами. Отсутствуют сертификаты на установленное оборудование и материалы. В результате обследования выполнено обоснование необходимости проведения капитального ремонта системы центрального отопления.

По результатам обследования составляется дефектная ведомость, определяющая объемы работ по демонтажу приборов и трубопроводов, теплоизоляции трубопроводов, арматуры.

На основании расчета теплотеря помещениями здания определены тепловые нагрузки и подобраны отопительные приборы. Тип приборов определен с учетом особенностей однотрубной системы на основании вариантной проработки в сравнении с секционными и биметаллическими радиаторами. Приняты радиаторы стальные панельные Purmo C, тепловая мощность от 663 до 5023 Вт (рис. 97, д) и чугунные радиаторы с тепловой мощностью от 800 до 3840 Вт.

Конструкция стального панельного радиатора PURMO не требует дополнительных действий при монтаже, отсутствуют межсекционные соединения, что повышает прочность конструкции в целом. Также отсутствуют дополнительные расходные материалы – ниппели и прокладки. Размеры стальных панельных радиаторов PURMO наиболее удобны для монтажа при низком расположении оконных проемов, что актуально при капитальном ремонте системы отопления. Кроме того, стальной панельный радиатор PURMO комплектуется полным монтажным набором, включая заглушку, воздухоотводчик, кронштейны крепления. Стальной панельный радиатор PURMO обладает эстетичным внешним видом. Вся поверхность радиатора грунтуется, затем покрывается специальной порошковой эмалью белого цвета в электростатическом поле, после чего он проходит тепловую обработку (катофорез второго поколения). Стальные панельные радиаторы PURMO выпускаются в широком диапазоне типоразмеров и мощностей, что позволяет подобрать оптимальное сочетание размера радиа-

### 3.5. Особенности проектирования систем отопления при капитальном...

тора и его теплоотдачи. Радиаторы PURMO обладают очень низкой тепловой инерцией.

В проекте предусмотрены краны шаровые, терморегуляторы Danfoss для однотрубной системы, ручные балансировочные клапаны, автоматические воздухоотводчики с учетом особенностей однотрубных систем. Исходя из требований повышения энергоэффективности инженерных систем, использование терморегуляторов с ограничением диапазона настройки температуры до 26 °С будет способствовать снижению энергопотребления зданием. Приняты трубы PPRC/AL/PPRC SDR 6 PN25, армированные алюминием, ВГП обыкновенные неоцинкованные и электросварные прямошовные неоцинкованные. Для теплоизоляции приняты цилиндры «Экоролл», кашированные алюминиевой фольгой.

Таким образом, при подготовке проекта использованы экономически целесообразные инженерные решения, обеспечивающие требования нормативных документов с учетом особенностей здания, имеющего статус объекта культурного наследия.

## Заключение

Здания доходных домов дореволюционной постройки представляют собой особую группу объектов с различающимися архитектурными, планировочными решениями, показателями ограждающих конструкций.

Анализ проектов при выполнении капитального ремонта систем отопления этих зданий позволяет сделать вывод, что основные трансмиссионные потери теплоты проходят через наружные стены – около 40 % от общих теплопотерь. Такая же часть уходит на подогрев наружного инфильтрационного воздуха.

По результатам данных натурных обследований зданий доходных домов дореволюционной постройки выявлены проблемы обеспечения требуемых параметров микроклимата жилых помещений.

В настоящее время отсутствует информация о теплотехнических характеристиках материалов ограждающих конструкций, что определяет актуальность исследований по определению фактического коэффициента теплопроводности кирпичей для указанных зданий.

В результате лабораторных исследований образцов кирпича и кирпичной кладки из зданий рассматриваемого периода постройки получены значения фактической теплопроводности кирпичей и коэффициентов теплопередачи, подтвержденные численным экспериментом.

Расчетные удельные расходы на отопление и вентиляцию доходных домов составляют от 0,5 до 0,9 Вт/(м<sup>3</sup> · К). Учитывая современный показатель нормативного значения удельного расхода на отопление и вентиляцию 0,32–0,41 Вт/(м<sup>3</sup> · К), данные здания можно было бы отнести к классам энергосбережения D и E, требующим проведения реконструкции при соответствующем экономическом обосновании. Показаны пути повышения энергосбережения зданий с использованием теплоизоляции наружных ограждающих конструкций.

В работе представлены фрагменты проекта капитального ремонта системы отопления с энергосберегающими решениями для доходного дома – объекта культурного наследия. Несмотря на то что современные требования по тепловой защите здания не распространяются на доходные дома дореволюционной постройки, тем не менее в публикациях отечественных и зарубежных исследователей рекомендуется с точки зрения повышения энергоэффективности одновременно выполнить следующие требования:

- поэлементные требования для доведения приведенных сопротивлений теплопередаче отдельных ограждающих конструкций до величины не менее нормируемых значений;
- комплексное требование, т. е. обеспечить нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания;
- санитарно-гигиеническое требование, согласно которому температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений.

## Библиографический список

1. *Инчик В. В.* Кирпичный наряд Невского проспекта / В. В. Инчик. – СПб.: 2016. – 180 с.
2. *Юхнева Е. Д.* Петербургские доходные дома / Е. Д. Юхнева. – М.: Центрполиграф, 2019. – 491 с.
3. Доходные дома Санкт-Петербурга – краткая история. – URL: [http://www.zemvopros.ru/page\\_11510.htm](http://www.zemvopros.ru/page_11510.htm)
4. *Вейдле В.* Гоголь и архитектура / В. Вейдле. – URL: [http://russianway.rhga.ru/upload/main/41\\_Veydle.pdf](http://russianway.rhga.ru/upload/main/41_Veydle.pdf)
5. История дома на Моховой улице, 27–29. – URL: <http://igorminakov.ru/issledovaniya/istorii-doma-na-mokhovoju-ulitse-27-29>
6. Доходный дом Басина в Петербурге. – URL: <http://architectstyle.livejournal.com/284616.html>
7. Развитие безордерных композиций. – URL: [http://www.zodchiy.net/ru/mainpage/guide/o\\_system/razvitie/](http://www.zodchiy.net/ru/mainpage/guide/o_system/razvitie/)
8. *Черняк Я. Н.* Очерки по истории кирпичного производства в России X – начала XX веков / Я. Н. Черняк. – М.: Промстройиздат, 1957. – 168 с.
9. *Елшин Д. Д.* Датирующие свойства петербургского кирпича XVIII–XX вв. / Д. Д. Елшин, А. Ф. Векслер // Археологическое наследие Санкт-Петербурга. – 2003. – Вып. 1. – С. 177–185.
10. *Инчик В. В.* Технология изготовления кирпича в Санкт-Петербургской губернии в XVIII веке / В. В. Инчик // Строительные материалы. – 2004. – № 2. – С. 52–55.
11. *Инчик В. В.* Производство кирпича в Санкт-Петербурге / В. В. Инчик // Строительные материалы. – 2004. – № 5. – С. 47–49.
12. *Инчик В. В.* Механизация кирпичного производства в Санкт-Петербургской губернии в середине XIX века / В. В. Инчик // Строительные материалы. – 2005. – № 2. – С. 39–43.
13. *Седова Н.* Кирпичного дела промышленники. История кирпичей города Санкт-Петербурга из электронной энциклопедии / Н. Седова // Санкт-Петербургские ведомости. – 2001. – № 37 (2427). – URL: <http://www.pressa.spb.ru/newspapers/spb>
14. Плинфа. – Энциклопедия. Всемирная история. – URL: <https://w.history-trf.ru/articles/article/show/plinfa>
15. Новые исследования древнерусской плинфы. – URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/83455/48-Elshin.pdf?sequence=1>
16. Архитектура и проектирование. Справочник. – URL: <http://arx.novosibdom.ru/node/1670>

17. *Раппопорт П. А.* Архитектура средневековой Руси. Избранные статьи. К 100-летию со дня рождения / П. А. Раппопорт. – СПб.: Лики России, 2013. – 328 с.
18. Кирпич: история и современность. – URL: [https://7dach.ru/Oleg\\_Sanko/kirpich-istoriya-i-sovremennost-152314.html](https://7dach.ru/Oleg_Sanko/kirpich-istoriya-i-sovremennost-152314.html)
19. Знатные кирпичи из Гофмановской печи. – URL: <https://gp.by/category/novosti/obshchestvo/news25343>
20. *Значко-Яворский И. Л.* Очерки истории вяжущих веществ / И. Л. Значко-Яворский. – М.: АН СССР, 1963. – 500 с.
21. Руководство к архитектуре, составленное для студентов Горного института архитектором Свиязевым. – С.-Петербург: В Типографии Конрада Вингебера, 1833. – Ч. 1. – 222 с.
22. *Смирнов В. Н.* Кирпичные клейма Санкт-Петербургской губернии середины XIX – начала XX в.: каталог и исследование / В. Н. Смирнов, Д. Д. Елшин // Бюллетень Института истории материальной культуры РАН. – Вып. 1. – СПб.: Периферия, 2017. – 214 с.
23. Архитектура в России. – URL: <https://archirussia.com/istoriya-2/istoriya-vozniknoveniya-kirpicha/>
24. Петербургские дома. Очерки из истории. – URL: <https://oborona1.livejournal.com/131814.html#/131814.html>
25. Земвопрос. – URL: [https://www.zemvopros.ru/page\\_11510.htm](https://www.zemvopros.ru/page_11510.htm) 41
26. Дворы-колодцы в Санкт-Петербурге. – URL: [https://www.spb-guide.ru/page\\_12961.htm](https://www.spb-guide.ru/page_12961.htm)
27. Архитектурное наследие. – URL: <https://arch-heritage.livejournal.com/2613636.html> 36
28. Малый энциклопедический словарь: в 4 т. – М.: ТЕРРА, 1997. – Т. 4. – 624 с.
29. *Рябев Г. А.* Совершенствование методов расчета энергетических показателей систем отопления реконструируемых доходных домов Санкт-Петербурга: науч. докл. / Г. А. Рябев. – СПб.: СПбГАСУ, 2019. – 82 с.
30. ГОСТ 530–2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.
31. *Головина С. Г.* История развития конструкций зданий жилой исторической застройки на примере Санкт-Петербурга: учеб. пособие / С. Г. Головина; сост. С. Г. Головина, С. В. Семенцов; – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – 39 с.
32. *Аше Б. М.* Отопление и вентиляция: в 2 ч. / Б. М. Аше, Г. А. Максимов. – Л.-М.: Стройиздат Наркомстроя, 1939. – 395 с.
33. *Орлов А. И.* Русская отопительно-вентиляционная техника / А. И. Орлов. – М.: Стройиздат, 1950. – 224 с.
34. *Синчук И. И.* Муляжи печей Несвижского замка / И. И. Синчук // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Социально-гуманитарные и психолого-педагогические науки. – 2013. – № 2. – С. 224–244.

35. *Флавицкий И. Д.* Здоровое и вредное отопление и оздоровление жилых помещений / И. Д. Флавицкий. – СПб.: Тип. М-ва пут. сообщ. (А. Бенке), 1882. – 285 с.
36. *Миркис С. М.* История печного дела в России: лекция / С. М. Миркис. – URL: <http://www.artdek.ru/template/text/IstorPechD.pdf>
37. *Бородина С.* Отпор враждующему хладу: эволюция отопительных систем в русских усадьбах / С. Бородина, Е. Евсеев // Вестник международного антиквариата. Мир искусств. – 2015. – № 3 (11). – С. 76–88.
38. Наставление для управления домашнею прислугою с верными указаниями для отопления и освещения комнат. – Сер. третья. – СПб.: Изд. книгопродавца и изд. М. О. Вольфа, 1858. – 111 с. (Карманная хозяйственная библиотека).
39. *Федосюк Ю. А.* Что непонятно у классиков, или Энциклопедия русского быта XIX века / Ю. А. Федосюк. – 14-е изд., испр. – М.: Флинта, 2014. – 263 с.
40. *Чернов С.* Бейкер-стриг и окрестности. Эпоха Шерлока Холмса / С. Чернов. – М.: Форум, 2012. – 476 с.
41. *Крутиков П. Г.* Эрмитаж: науки служат музам / П. Г. Крутиков, Н. А. Принцев. – Л.: Наука, 1989. – 174 с.
42. Отопление Царскосельских дворцов. – URL: <http://tsarselo.ru/yenciklopedija-carskogo-sela/stroitelstvo-carskogosela-gorodskoe-hozjaistvo/otoplenie-carskoselskih-dvorcov.html#.Vel2k0OB5nM>
43. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
44. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуал. ред. СНиП 41-01–2003.
45. *Новичкова Н. Ю.* Основные факторы пожарной опасности в российских городах во второй половине XIX века / Н. Ю. Новичкова // Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова. – 2014. – Т. 20. – № 4. – С. 62–65.
46. Все о теплоснабжении в России. – URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=925](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=925)
47. Водяное отопление. – URL: <http://engineeringssystem.ru/v/vodanoe-otoplenie.php>
48. *Ритшель Г.* Расчет трубопроводов водяного отопления / Г. Ритшель. – М.: Литограф, 1915. – 95 с.
49. *Павловский А. К.* Курс отопления и вентиляции: в 2 ч. / А. К. Павловский. – СПб.: Типография журнала «Строитель», 1909. – Ч. 2. Центральные системы отопления. Вентиляция. – URL: [gntb.dlibrary.org](http://gntb.dlibrary.org)
50. *Чаплин В. М.* Курс отопления и вентиляции / В. М. Чаплин. – М.-Л.: Гос. изд-во, 1928. – 359 с.

51. *Лукашевич С. Б.* Курс отопления и вентиляции, преподаваемый в институте гражданских инженеров. / С. Б. Лукашевич. – 4-е изд. – СПб.: Скоропечатная Я. И. Либермана, 1912. – 650 с.
52. Теплый город: как грели Петербург в XVIII–XX веках. – URL: <https://ok-inform.ru/obshchestvo/history/55774-teplyj-gorod-kak-greli-peterburg-v-xviii-xx-vekakh.html>
53. Архитектурное наследие. – URL: <https://arch-heritage.livejournal.com/2613636.html>
54. Собрание таблиц и формул для инженеров, архитекторов и механиков: таблицы / Изд. Колесова и Михина; сост. А. А. Недзялковский. – Санкт-Петербург: Тип. В. Безобразова и Комп., 1867. – 170 с.
55. *Войницкий Г. С.* Курс отопление вентиляции Николаевской Инженерной Академии [Рукопись] / Г. С. Войницкий. – СПб.: [б. и.], 1876/7. – 248 с.
56. Дом для петербургской элиты: сегодня и сто лет назад. – URL: <http://www.fontanka.ru/longreads/luxury/>
57. *Связев И. И.* Теоретические основания печного искусства в применении к устройству разных нагревателей, к отоплению и вентиляции зданий архитектора Связева / И. И. Связев. – С.-Петербург: Тип. Безобразова, 1867. – 255 с.
58. *Тимохович С. Я.* Вентиляция жилых помещений: докл. в Обществе горн. инж. / Инж.-мех. С. Я. Тимохович. – Санкт-Петербург: Тип. П. П. Сойкина, 1908. – 16 с.
59. Лиговский проспект, Санкт-Петербург. – URL: <http://posmotrim.by/article/ligovskij-prospekt-sankt-peterburg.html>
60. *Флавицкий И. Д.* Отопление и вентиляция через воздушные междуоконные промежутки / И. Д. Флавицкий. – СПб.: Зодчий, 1876. – С. 94–96.
61. *Park S. C.* Heating, Ventilating, and Cooling Historic Buildings-Problems and Recommended Approaches. 1991. – URL: <http://www.oldhouseweb.com/how-to-advice/heating-ventilating-and-cooling-historic-buildings.html> (date of application: 15.06.19).
62. *Makrodimitri M., Papavasileiou S., Campbell J. W. P., Steemers K.* Heating historic structures. A review of heating systems in historic church buildings and implications related to conservation and comfort. The case of four historic churches in Cambridge. 2010. – URL: [http://www.an-patrimoine-echanges.org/IMG/pdf/session\\_s2e\\_magdalini\\_makrodimitri\\_universite\\_de\\_cambridge\\_angleterre.pdf](http://www.an-patrimoine-echanges.org/IMG/pdf/session_s2e_magdalini_makrodimitri_universite_de_cambridge_angleterre.pdf) (date of application: 15.06.19).
63. *Roberts B.* 19th-century Radiators and Heating Systems. 2019. – URL: <https://www.buildingconservation.com/articles/heating-systems/heating-systems.htm> (date of application: 15.06.19).

64. *De Carli M.* Technologies and examples of heating and cooling historical buildings. SEMINAR Historical Architecture & Energy Efficiency. – Proposals and Solutions. Bruxelles, September 25. 2013.

65. Energy Efficiency and Historic Buildings. Application of part L of the Building Regulations to historic and traditionally constructed buildings. 2010. 72 p.

66. *Murgul V., Pukhkal V.* Saving the Architectural Appearance of the Historical Buildings due to Heat Insulation of their External Walls. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. Pp. 891–899.

67. *Murgul, V.* Features of energy efficient upgrade of historic buildings (illustrated with the example of Saint Petersburg). *Journal of Applied Engineering Science*. 2014. Vol. 12 (1). Pp. 1–10.

68. *Дмитриев А. Н.* Энергосбережение в реконструируемых зданиях / А. Н. Дмитриев, П. В. Монастырев, С. Б. Сборщников. – М.: ASV, 2008. – 208 с.

69. *Penića M., Golovina S., Murgul V.* Revitalization of Historic Buildings as an Approach to Preserve Cultural and Historical Heritage. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. Pp. 883–890.

70. *Pukhkal V., Tanić M., Vatin N., Murgul V.* Studying Humidity Conditions in the Design of Building Envelopes of “Passive House” (in the case of Serbia). *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. Pp. 859–864.

71. *Murgul V.* Reconstruction of the Courtyard Spaces of the Historical Buildings of Saint-Petersburg with Creation of Atriums. *Procedia Engineering*. 2015. – Vol. 117. Pp. 808–818.

72. *Разаков М. А.* Результаты применения энергосберегающих мероприятий в «Доходных домах» Санкт-Петербурга / М. А. Разаков, Е. В. Рудакова, Г. А. Рябев // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2019. – № 2. – С. 79–81.

73. *Claude S., Ginestet S., Bonhomme M., Escadeillas G., Taylor J., Marincioni V., Korolija I., Altamirano H.* Evaluating retrofit options in a historical city center: Relevance of bio-based insulation and the need to consider complex urban form in decision-making. *Energy&Buildings*. 2019. Vol. 182. Pp. 196–204.

74. *Cabeza L.F., Gracia A., Pisello A. L.* Integration of renewable technologies in historical and heritage buildings: A review. *Energy&Buildings*. 2018. Vol. 177. Pp. 96–111.

75. *Уляшева В. М.* К вопросу реконструкции систем отопления жилых зданий в Санкт-Петербурге / В. М. Уляшева, Г. А. Рябев // Актуальные проблемы строительства: материалы 69-й науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3-х ч. – СПб.: СПбГАСУ, 2016. – Ч. 3. – С. 284–289.

76. *Леонтьева Ю. Н.* Прогнозирование динамики тепловлажностного состояния ограждающих конструкций жилых зданий Санкт-Петербурга и повышение их энергоэффективности: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Ю. Н. Леонтьева. – М., 2002. – 166 с.

77. ГОСТ 26629–85. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.
78. ГОСТ Р 53778–2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
79. Жилищный кодекс Российской Федерации в действ. ред. 2016 г. (с комм.). Ст. 166. Капитальный ремонт общего имущества в многоквартирном доме. – URL: <http://ppt.ru/kodeks.shtml?kodeks=8&paper>
80. ГОСТ 26254–1999. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
81. ГОСТ 25380–2014. Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции.
82. ГОСТ 31166–2003. Конструкции ограждающие зданий и сооружений. Метод calorиметрического определения коэффициента теплопередачи.
83. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуал. ред. СНиП 23-02–2003.
84. СП 23-101–2004. Проектирование тепловой защиты.
85. *Рябев Г. А.* Определение фактического коэффициента теплопроводности кирпичей зданий дореволюционной постройки / Г. А. Рябев // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 2. – С.132–137.
86. *Воробьева Ю. А.* Влияние процесса старения ограждающих конструкций и инженерного оборудования жилых зданий на микроклимат помещений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Ю. А. Воробьева. – СПб., 2006. – 24 с.
87. ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме.
88. МДС 23-1.2007. Методические рекомендации по комплексному теплотехническому обследованию наружных ограждающих конструкций с применением тепловизионной техники.
89. ГОСТ Р 56623–2015. Контроль неразрушающий. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
90. СП 54.13330.2016. Здания жилые многоквартирные. Актуал. ред. СНиП 31-01–2003.
91. *Дерюгин В. В.* Тепломассообмен / В. В. Дерюгин, В. Ф. Васильев, В. М. Уляшева. – СПб.: СПбГАСУ, 2016. – 244 с.
92. *Беляев К. В.* Проблемы совершенствования методов расчета воздухообмена и воздухораспределения на основе приближенных и точных моделей / К. В. Беляев, Д. А. Никулин, Г. М. Позин, М. Х. Стрелец // Труды 5-го съезда АВОК. – М.: АВОК, 1996. – С. 165–170.
93. *Дацюк Т. А.* Результаты моделирования микроклимата жилых помещений при различных типах отопительных приборов / Т. А. Дацюк, Ю. П. Ивлев, В. А. Пухкал // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 6. – С. 12–21.

94. *Гримитлин А. М.* Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования / А. М. Гримитлин, Т. А. Дацюк, Д. М. Денисихина. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. – 192 с.
95. *Васильев В. Ф.* К вопросу применения моделей турбулентности при численном моделировании процессов тепло-, воздухо- и массообмена / В. Ф. Васильев, В. М. Уляшева, М. А. Канев, Г. А. Рябев // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2016. – № 12. – С. 68–71.
96. *Позин Г. М.* К вопросу применения моделей турбулентности при численном моделировании вентиляционных процессов / Г. М. Позин, В. М. Уляшева, И. Д. Киборт // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 10. – С. 49–56.
97. *Денисихина Д. М.* Особенности численного моделирования поведения воздушных потоков в объемах концертных и театральных залов / Д. М. Денисихина // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 3 (22). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/81TVN314.pdf>
98. *Денисихина Д. М.* Использование программы STAR-CCM+ при проектировании систем вентиляции: учеб. пособие / Д. М. Денисихина. – СПб.: СПбГАСУ, 2013. – 68 с.
99. *Аверьянов В. К.* Численное моделирование процесса теплообмена через утепленные и неутепленные полы / В. К. Аверьянов, В. М. Уляшева, Г. А. Рябев // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 2. – С. 155–160.
100. *Рябев Г. А.* Математическое моделирование теплообмена через наружные строительные конструкции / Г. А. Рябев // Актуальные проблемы строительства: материалы 70-й науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3-х ч.; СПбГАСУ. – 2016. – Ч. 3. – С. 284–289.
101. *Denga J., Yaoa R., Yub W., Zhange Q., Li B.* Effectiveness of the thermal mass of external walls on residential buildings for part-time part-space heating and cooling using the state-space method. *Energy&Buildings*. 2019. Vol. 190. Pp. 155–171.
102. *Малявина Е. Г.* Определение теплопотерь подземной части здания расчетом трехмерного температурного поля грунта / Е. Г. Малявина, Д. С. Иванов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 209–215.
103. *Energyplus VS DOE-2: The Effect of Ground Coupling on Heating and Cooking Energy Consumption of a Slab-on-Grade Code House in a Cold Climate.* Simge Andolsun, Charles H. Culp, Jeff Haberl. Texas A&M University, College Station, TX, USAESL-PA-10-08-03 from.
104. *Thermal Performance Analysis of Reinforced Concrete Floor Structure with Radiant Floor Heating System in Apartment Housing* Young-Sun Jeong and Hae-Kwon Jung *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2015 (2015)*, Article ID 367632, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/367632>
105. *Хвольсон О. Д.* Курс физики: в 4-х т. / О. Д. Хвольсон. – Т. 3. – URL: <https://books.google.ru> (дата обращения 05.05.2020).

106. *Фокин К. Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
107. *Кауфман Б. Н.* Теплопроводность строительных материалов / Б. Н. Кауфман. – М.: Стройиздат, 1955. – 160 с.
108. *Каммерер И.* Теплоизоляция в промышленности и строительстве / И. Каммерер. – М.: Стройиздат, 1965. – 380 с.
109. *Куприянов В. Н.* Влияние влаги на теплопроводность стеновых материалов. Состояние вопроса / В. Н. Куприянов, А. М. Юзмухаметов, И. Ш. Сафин // Известия КГАСУ. – 2017. – № 1 (39). – С. 102–110.
110. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. Актуал. ред. СНиП 23-01–99\*.
111. *Богословский В. Н.* Потенциал влажности. Теоретические основы / В. Н. Богословский, В. Г. Гагарин // Рос. акад. архит. и стр-ва. Вестник отд. строит. наук. – 1996. – Вып. 1. – С. 12–14.
112. *Гагарин В. Г.* К вопросу о назначении расчетной влажности строительных материалов по изотерме сорбции / В. Г. Гагарин, П. П. Пастушков, Н. А. Реутова // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 4 (60). – С. 152–155.
113. *Перехоженцев А. Г.* Теоретические основы и методы расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций зданий / А. Г. Перехоженцев. – Волгоград: ВолГАСУ, 2008. – 212 с.
114. *Корниенко С. В.* Повышение энергоэффективности зданий за счет совершенствования методов расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций / дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.03 / С. В. Корниенко. – Волгоград, 2018. – 380 с.
115. *Гагарин В. Г.* История возникновения и трансформации понятия «потенциала влажности» от Ч. Сликтера до В. Н. Богословского / В. Г. Гагарин // Проблемы строительной теплофизики, систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях. Академ. чтения, посвященные памяти В. Н. Богословского: сб. докл. 6-й науч.-практ. конф. – М.: НИИСФ РААСН, 2001. – С. 333–340.
116. *Гвоздков А. Н.* Тепло- и влагообмен в системе «воздух – вода» с позиции теории потенциала влажности / А. Н. Гвоздков // Известия вузов. Строительство. – 2015. – № 11–12. – С. 31–40.
117. *Козлов В. В.* Учет фильтрации влажного воздуха при расчете влажностного режима ограждающей конструкции / В. В. Козлов // Стены и фасады. Актуальные проблемы строительной теплофизики. Академ. чтения: сб. докл. 8-й науч.-практ. конф. – М.: НИИСФ РААСН, 2003. – С. 54–60.
118. *Лыков А. В.* Массо- и теплоперенос в строительных материалах / А. В. Лыков // Инженерно-физический журнал. – 1965. – Т. 8. – № 2. – С. 161–169.
119. *Rode C.* Combined heat and moisture transfer in building constructions: Dissertation Technical University of Denmark, 1990.

120. Франчук А. У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / А. У. Франчук. – М.: Стройиздат, 1949. – 120 с.

121. Франчук А. У. Исследование переноса влаги в строительных материалах / А. У. Франчук // Инженерно-физический журнал. – 1960. – Т. 3. – № 12. – С. 99–102.

122. Лукьянов В. И. Снижение потерь тепла через наружные стены за счет оптимизации их влажностного режима / В. И. Лукьянов // Науч. тр. НИИСФ Госстроя СССР «Исследования по вопросам экономии энергии при строительстве и эксплуатации зданий», 1982. – С. 140–145.

123. PCГрупп. – URL: <http://rs-g.ru/preimuschestva-gazobetona-po-sravneniyu-s-drugimi-materialami>

124. Harmati N., Jakšić Ž., Vatin N. Energy Consumption Modelling via Heat Balance Method For Energy Performance of a Building. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. Pp. 786–794.

125. Sari A., Sharma R. K., Hekimoğlu G., Tyagi V. V. Preparation, characterization, thermal energy storage properties and temperature control performance of form – stabilized sepiolite based composite phase change materials. *Energy&Buildings*. 2019. Vol. 188–189. Pp. 111–119.

126. Денисихина Д. М. Энергомоделирование зданий – инвестиции в прошлое и будущее / Д. М. Денисихина, Ю. И. Бубнов // Здания высоких технологий. – 2016. – № 1. – С. 20–24.

127. Kiritmat A., Krejcar O. A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects. *Energy&Buildings*. 2018. Vol. 176. Pp. 390–406.

128. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

129. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 18.02.2014 № 84 «О региональной программе капитального ремонта общего имущества в многоквартирном доме в Санкт-Петербурге» (с изм. и доп. на 18.12.2015).

130. Bhatta S. R., Tiippana K., Vahtikaric K., Kiviluomad P., Hughes M., Kytä M. Quantifying the sensation of temperature: A new method for evaluating the thermal behaviour of building materials, *Energy&Buildings*. 2019. Vol. 195. Pp. 26–32.

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

132. Кувшинов Ю. Я. Расчет годовых расходов энергии системами вентиляции и кондиционирования воздуха / Ю. Я. Кувшинов // АВОК. – 2006. – № 7. – С. 15–18.

133. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.

134. *Малявина Е. Г.* Теплопотери здания: справ. пособие / Е. Г. Малявина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 144 с.
135. *Сеппанен О.* Повышение энергетической эффективности зданий в Европе / О. Сеппанен // Энергосбережение. – 2013. – № 5. – С. 10–17.
136. Алматы. Менеджмент, университет. – URL: <http://www.kostanay.gov.kz/uploads/files/1369651913.doc>
137. *Atmaca A. B., Gedik G. Z.* Evaluation of mosques in terms of thermal comfort and energy consumption in a temperate–humid climate. *Energy&Buildings*. 2019. Vol.195. Pp. 195–204.
138. *Ливчак В. И.* Доведение энергоэффективности многоквартирных домов нового строительства до нормируемого значения / В. И. Ливчак // Энергосвет. – 2015. – № 2 (39). – С. 31–40.
139. ГОСТ 31168–2003. Здания жилые. Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление.
140. *Цыганков В. М.* Энергоэффективность и энергосбережение при капитальном ремонте / В. М. Цыганков // Энергосвет. – 2016. – № 1 (43). – С. 12–16.
141. *Фангер О. П.* Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. – 2003. – № 4. – С. 12–21.
142. *Олсен Б.* Показатели микроклимата помещений для проектирования зданий и расчета их энергетической эффективности – EN 15251 // АВОК. – 2008. – № 6. – С. 62–68.
143. *Уляшева В. М.* К вопросу реконструкции систем отопления жилых зданий в Санкт-Петербурге / В. М. Уляшева, Г. А. Рябев // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: материалы XIV Междунар. науч. конф., 18–29 сентября 2016 г., г. Афины. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2016. – С. 152–157.
144. *Мора Р.* Тепловой комфорт в помещении / Р. Мора, Р. Бин // АВОК. – 2019. – № 6. – С. 48–52.
145. *Мора Р.* Тепловой комфорт в помещении. Использование стандарта ASHRAE 55-2017 в проектировании / Р. Мора, Р. Бин // АВОК. – 2019. – № 7. – С. 52–56.
146. *Фангер О. Р.* Качество внутреннего воздуха в зданиях, построенных в холодном климате, и его влияние на здоровье, обучение и производительность труда людей // АВОК. – 2006. – № 2. – С. 12–19.
147. Стандарт АВОК 2.1–2017. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. – М.: АВОК, 2018. – 16 с.
148. *Борисоглебская А. П.* Методика расчета и оптимизация воздухообмена для помещений жилых зданий / А. П. Борисоглебская // АВОК. – 2007. – № 2 – С. 12–19.
149. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492–17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.

## Библиографический список

---

150. Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
151. Р НП АВОК 5.2–2012. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий.
152. *Борухова Л. В.* Нормирование воздухообмена в помещениях и энергоэффективность жилых зданий / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko // Наука и техника. – 2018. – Т. 17. – № 4. – С. 306–313.
153. *Рябев Г. А.* Тепловые характеристики жилых зданий дореволюционной постройки / Г. А. Рябев // С.О.К. – 2019. – № 7. – С. 80–82.
154. СП 345.1325800–2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты.
155. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического здания.
156. *Федоров В. В.* Реконструкция зданий, сооружений и городской застройки: учеб. пособие / В. В. Федоров, Н. Н. Федорова, Ю. В. Сухарев. – М.: ИНФА, 2008. – 224 с.
157. Методика натурных испытаний воздухообмена жилых домов / А. З. Ивянский, И. Б. Павлинова, Ю. А. Гершензон [и др.]. – М.: ЦНИИЭП, 1980. – 48 с.
158. Технология BIM для проектирования механических, электрических и сантехнических систем. – URL: <https://www.autodesk.ru/solutions/bim/mer>
159. ГОСТ 12.3.018–79. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний.

# Оглавление

Введение .....	3
<b>1. Особенности архитектурных и инженерных решений зданий дореволюционной постройки в Санкт-Петербурге .....</b>	<b>5</b>
1.1. Архитектурные решения доходных домов Санкт-Петербурга .....	5
1.2. История кирпичного производства в России .....	24
1.3. Строительные и объемно-планировочные особенности доходных домов .....	29
1.4. Системы обеспечения микроклимата доходных домов до революции .....	33
<b>2. Показатели тепловой защиты доходных домов дореволюционной постройки .....</b>	<b>67</b>
2.1. Анализ состояния ограждающих конструкций зданий дореволюционной постройки .....	67
2.2. Исследование теплотехнических характеристик ограждающих конструкций доходных домов .....	76
2.3. Оценка эффективности применения изоляции для повышения тепловой защиты зданий дореволюционной постройки .....	115
<b>3. Показатели энергосбережения доходных домов дореволюционной постройки .....</b>	<b>134</b>
3.1. Энергосбережение и энергоэффективность в жилищном строительстве .....	134
3.2. Методика определения тепловых нагрузок помещений жилых зданий .....	153
3.3. Общие сведения о теплопотреблении доходных домов .....	155
3.4. Расчетные показатели энергосбережения зданий .....	159
3.5. Особенности проектирования систем отопления при капитальном ремонте инженерных систем доходных домов .....	174
Заключение .....	190
Библиографический список .....	192

Научное издание

**Уляшева** Вера Михайловна  
**Мартьянова** Анна Юрьевна  
**Рябев** Георгий Анатольевич

**ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ ЗДАНИЙ  
ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ  
В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

Монография

Редактор *Т. В. Середова*  
Корректор *Е. Н. Апринцева*  
Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 15.12.2020. Формат 60×84  $\frac{1}{16}$ . Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 11,86. Тираж 500 экз. Заказ 127. «С» 81.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.