



МИР строительства

В. Блэзи

Справочник проектировщика. Строительная физика

Перевод с немецкого
под ред. д.т.н. А.К. Соловьева

*Рекомендовано
кафедрой архитектуры МИСИ
в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся
по направлению подготовки
«Строительство»*

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2022

УДК 69
ББК 38.113
Б70

Б70 Блэзи В. Справочник проектировщика. Строительная физика

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2022. — 616 с.

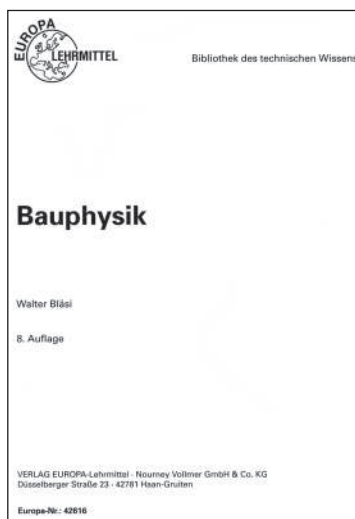
ISBN 978-5-94836-308-0

Справочник содержит материал по технологическим, теплофизическим и акустическим характеристикам современных строительных материалов. В нем рассматриваются вопросы пожарозащиты зданий и защиты от огня несущих и ограждающих конструкций, вопросы остекления и его характеристики с точки зрения теплозащиты при использовании в качестве теплоизоляционного или солнцезащитного остекления, строительная химия и светотехника.

Данное 8-е издание переработано с учетом новейших европейских стандартов, а также положений постановления об энергосбережении. Особое внимание в справочнике уделено свойствам капиллярно активных теплоизоляционных материалов, в частности их применению в качестве внутренней теплоизоляции. При пользовании книгой следует учитывать, что все примеры приводятся для климатических условий Германии. Однако общие закономерности остаются справедливыми и для климата России.

Справочное руководство предназначено для инженеров-проектировщиков, учащихся высших учебных заведений и колледжей, а также для обучения в системе переподготовки и повышения квалификации.

УДК 69
ББК 38.113



© Copyright 2011 (8th edition): Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Grutten (Germany)

© АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», перевод на русский язык, оригинал-макет, оформление, 2022

ISBN 978-5-94836-308-0

ISBN 978-3-8085-4268-2 (нем.)

MosBuild

28-я выставка строительных
и отделочных материалов

28–31 марта 2023
Москва, Крокус Экспо

Забронируйте стенд на сайте
mosbuild.com

56 622

посетителей
из 81 регионов России

800*

участников из 20 стран



MosBuild



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER

* MosBuild is the largest building and interiors trade show in Russia
in all categories of the All-Russian Exhibition Rating 2018–2019.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	14
Предисловие к русскому изданию	16
Глава 1. Теплозащита	18
1.1. Основы теплозащиты	18
1.1.1. Задачи теплозащиты	18
1.1.2. Источники тепла	19
1.1.3. Геотермия	20
1.1.4. Факторы, влияющие на теплозащиту	22
1.1.5. Теплопередача	23
1.2. Физические основы	25
1.2.1. Основные физические величины теплозащиты	25
1.2.2. Ощущение комфорта в помещении	30
1.2.3. Возможности энергосбережения	34
1.3. Расчеты, подтверждающие выполнение требований по теплозащите	35
1.3.1. Расчет для подтверждения выполнения требований по теплозащите согласно DIN 4108	35
1.3.2. Среднее значение величины U/R	40
1.3.3. Общий энергетический коэффициент пропускания g	45
1.4. Подтверждение выполнения требований теплозащиты согласно постановлению об энергосбережении (EnEV)	47
1.4.1. Постановление об энергосбережении и его связь с национальными стандартами	47
1.4.2. Область применения постановления об энергосбережении	48
1.4.3. Основные методы расчета согласно постановлению об энергосбережении	50
1.4.4. Термины и определения постановления об энергосбережении	51
1.4.5. Размеры здания и их использование в EnEV	58
1.4.6. От конечной энергии Q_E к первичной энергии Q_p	59
1.4.7. Внутренние теплопоступления	60
1.4.8. Солнечные теплопоступления	62
1.4.9. Воздухонепроницаемость / Испытания на воздухонепроницаемость	64
1.4.10. Теплопотери за счет вентиляции и инфильтрации	66
1.4.11. Накопление тепла	67
1.5. Методы расчета для подтверждения выполнения требований согласно постановлению об энергосбережении (EnEV 2009)	70
1.5.1. Метод месячного энергетического баланса (МВ-метод) / позлементный метод (ВТ-метод)	70
1.5.2. Санация существующих зданий	73
1.5.3. Определение годовой потребности в первичной энергии в последовательности от 1 до 10	75
1.5.4. Максимальное значение общего коэффициента теплопередачи U согласно EnEV	78
1.5.5. Методы расчетов для существующих зданий (старые постройки)	80
1.6. Характеристики материалов	81
1.7. Примеры расчета и применение теплозащиты	88
1.8. Энергетический баланс	145



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



ДЕРЕВООБРАБОТКА

Сборник под ред. В. Нутча

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2014. — 848 с.,
ISBN 978-5-94836-368-4

Цена 1300 руб.

Настоящее издание — ценный справочник, в котором приведены основные сведения по деревообработке. В книге содержится подробная информация о древесине: ее строении, свойствах, химическом составе, способах защиты от вредных воздействий окружающей среды. Авторы предлагают обзор древесных материалов и технологий работы с ними, подробно рассматривают ручные и электрические инструменты, станки и способы обработки поверхностей, а также некоторые особенности производства мебели.

Это учебное пособие для профессиональных учебных заведений и специализированных школ является полезным и ценным справочником, в котором обобщены основные знания, и исчерпывающим источником информации для практиков. Данное руководство подходит также для самостоятельного обучения.

Книга предназначена для столяров, механиков по деревообработке и стекольщиков, а также для проектировщиков, архитекторов, дизайнеров внутреннего интерьера.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphere.ru
sales@technosphere.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphere.ru

1.9. Летняя теплозащита	146
1.9.1. Роль окна в летней теплозащите и теплозащитное остекление	152
1.9.2. Сравнение характеристик отдельных строительных материалов с точки зрения летней и зимней теплозащиты	156
1.10. Методы расчетов для вновь возводимых зданий	157
1.11. Отопительные системы	160
1.12. Базовые значения интенсивности излучения и температура наружного воздуха для базового климата Германии	175
1.12.1. Значения интенсивности излучения для некоторых базовых регионов	181
1.13. Вновь возводимые жилые здания	187
1.14. Изменение размеров конструктивных элементов вследствие влияния изменения температуры	217
1.14.1. Примеры расчета плоских крыш	219
1.14.2. Виды плоских крыш	224
1.14.3. Примеры расчета различных строительных элементов	229
Глава 2. Влажность. Защита от влажности	233
2.1. Виды влаги	233
2.2. Агрегатные состояния	234
2.3. Виды воды	236
2.4. Круговорот воды	236
2.5. Вода и ее значение	238
2.6. Капиллярность	238
2.7. Гидроизоляция и пароизоляция	242
2.7.1. Гидроизоляция	242
2.7.1.1. Гидроизоляция от безнапорной воды	243
2.7.1.2. Гидроизоляция против воды под напором (грунтовых вод)	244
2.7.1.3. Швы — шовные ленты	245
2.7.2. Пароизоляция	247
2.8. Влажность воздуха	249
2.8.1. Абсолютная влажность воздуха	249
2.8.2. Относительная влажность воздуха	249
2.9. Образование конденсата — точка росы	250
2.10. Водонепроницаемость — паронепроницаемость — задерживание водяного пара — пароизоляция	254
2.10.1. Коэффициент сопротивления паропрониканию (μ)	254
2.11. Сравнение теплозащиты и защиты от влаги	256
2.12. Объяснение принципа теплового потока	257
2.13. Объяснение принципа пароизоляции	258
2.14. Давление водяного пара	259
2.15. Защита от влаги вследствие диффузии водяного пара	260
2.15.1. Условия влагозащиты согласно DIN 4108	260
2.15.2. Предотвращение выпадения влаги на поверхности конструкции	261
2.15.3. Предотвращение выпадения конденсата внутри ограждающих конструкций	262
2.15.4. Краевые условия по DIN 4108	263
2.16. Диаграмма Глазера	264
2.16.1. Период водонакопления	264
2.16.2. Объяснение построения диаграммы Глазера	266
2.16.3. Период испарения (высыхания)	268
2.17. Мероприятия по предотвращению выпадения конденсата внутри конструкции	270

ВЫСТАВКА ОТДЕЛОЧНЫХ
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ,
ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

 **YugBuild**

**1–4 марта
2023**

Краснодар
ВКК «Экспоград Юг»

17
разделов
экспозиции

146
участников

6496*
специалистов
со всего
Юга
России

*Статистика приведена
по выставке YugBuild-2022

Организатор



Международная
Выставочная
Компания

+7 (861) 200-12-34
yugbuild@mvk.ru

Официальный
информационный
спонсор



КОМПАЗИТ XXI век

**Забронировать
стенд**

www.yugbuild.com



2.18. Возможные случаи выпадения конденсата по диаграмме Глазера	272
2.18.1. Нет выпадения конденсата	272
2.18.2. Выпадение конденсата в одной плоскости	272
2.18.3. Выпадение конденсата в двух плоскостях	273
2.18.4. Выпадение конденсата в одной области	274
2.19. Исследование влажностного состояния различных конструкций	274
2.20. Элементы конструкций, требующие особого внимания с энергетической точки зрения и их последствий	344
2.20.1. Виды мостиков холода	344
2.20.2. Мостики холода: примеры расчета	347
2.20.3. Расчеты для мостиков холода согласно DIN 4108, Приложение 2	353
2.21. Образование плесневых грибов	358
2.21.1. Задачи по предотвращению образования плесневых грибов	365
2.21.2. Наружная стена с различных точек зрения по аспектам защиты от влажности	378
2.21.3. Образование водорослей на наружных стенах с многослойными системами теплоизоляции (WDVS)	381
2.22. Дождь	385
2.23. Капиллярноактивные теплоизоляционные материалы	387
2.24. Парозадерживающие материалы, адаптирующиеся к влажности	390
2.25. Крыша как особая часть постройки	391
Глава 3. Звук. Защита от шума	394
3.1. Значение защиты от шума	394
3.2. Звук	395
3.2.1. Частота	396
3.2.2. Амплитуда	396
3.2.3. Терминология звука	397
3.3. Основные понятия	398
3.4. Порог слышимости — болевой порог	404
3.5. Соотношение фон—децибел	406
3.6. Шкала громкости	407
3.7. Виды шума	408
3.8. Акустика	409
3.8.1. Время реверберации T	409
3.8.2. Граничная частота	412
3.9. Пути прохождения звука через конструкцию	414
3.9.1. Звукопоглощение	414
3.9.2. Коэффициенты звукопоглощения α_s различных вариантов отделки	415
3.9.3. Звукопоглотители	416
3.9.4. Отражение звука	417
3.10. Звукоизоляция строительных конструкций	419
3.10.1. Изоляция от воздушного шума	419
3.10.2. Расчетный метод оценки величины звукоизоляции по вышеприведенному примеру	422
3.10.3. Графический метод определения величины звукоизоляции	422
3.10.4. Определение величины звукоизоляции в октавных интервалах	423
3.10.5. Графический метод для определения величины звукоизоляции	423
3.11. Определение оцененной величины звукоизоляции перед возведением сооружения	425
3.11.1. Графические методы	425



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



СПРАВОЧНИК СТРОИТЕЛЯ. СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ

Издание 3-е, исправленное
и дополненное
Редактор оригинального
издания Х. Фрей

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. — 872 с.,
ISBN 978-5-94836-496-4

Цена 3100 руб.

Русскоязычному читателю хорошо знаком справочник строителя под редакцией Ханса Нестле, выдержавший 14 изданий на немецком языке. В 2013–2015 гг. та же команда немецких специалистов подготовила 15-е издание под общей редакцией Хансюрга Фрея.

В соответствии с новыми европейскими требованиями авторы существенно переработали главы «Строительство из железобетона», «Строительство из дерева», «Дорожное строительство».

Третье издание на русском языке известного немецкого справочника представляет собой всеобъемлющий источник информации по технологическим и конструктивным вопросам строительства.

Книга неизменно пользуется большим спросом среди инженеров-проектировщиков и специалистов в области строительства; может использоваться в проектном бюро и на стройплощадке в качестве справочника, а также для преподавания в строительных техникумах и вузах, является не только прекрасным учебным пособием, но и хорошим практическим руководством.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphera.ru
sales@technosphera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphera.ru

3.11.2. Расчетное определение оцененной величины звукоизоляции	428
3.11.2.1. Однооболочковые стены без проемов, таких как двери и окна	428
3.11.2.2. Однооболочковые стены с проемами, такими как двери, окна.	430
3.11.2.3. Графический метод определения общей величины звукоизоляции комбинированных конструкций	431
3.11.2.4. Расчетный метод определения общей величины звукоизоляции $R_{\text{общ}}$	432
3.11.2.5. Краткая форма расчета звукоизоляции комбинированных конструкций	434
3.11.2.6. Общая величина звукоизоляции стены с двумя различными проемами	436
3.11.2.7. Поправочные значения оцененной величины звукоизоляции для фланкирующих конструкций	438
3.12. Двухоболочковые конструкции	441
3.12.1. Резонансная частота f_R (частота собственных колебаний)	443
3.12.2. Резонансная частота f_R двухоболочковой конструкции со свободно вложенным в прослойку мягко пружинящим изоляционным слоем	444
3.12.3. Связь изоляционного слоя с обеими оболочками по всей плоскости	447
3.12.4. Расчетное определение величины звукоизоляции двухоболочковых конструкций	450
3.12.5. Конструкции стен с двумя гибкими оболочками	453
3.12.6. Улучшение звукоизоляции воздушного шума облицовочных оболочек	454
3.13. Шаговый шум	457
3.13.1. Определение нормированного уровня шагового шума	457
3.13.2. Конструкции перекрытий	460
3.13.3. Предварительное определение оцененного нормативного уровня шагового шума $L'_{n,w,R}$ согласно DIN 12354	461
3.13.4. Поправка на передачу шагового шума при использовании фланкирующих конструкций	462
3.13.5. Уменьшение шагового шума ΔL_w стяжек согласно DIN 12354	463
3.14. Стяжка	467
3.14.1. Виды стяжек	467
3.14.2. Мостики звука	470
3.15. Расчет перекрытий	471
3.15.1. Подвесные потолки под массивными перекрытиями	472
3.15.2. Перекрытия по деревянным балкам	473
3.15.3. Эквивалентные оцененные величины звукоизоляции от ударного шума под перекрытием $L'_{n,w,eq}$ и величины звукоизоляции от воздушного шума перекрытий по деревянным балкам	474
3.16. Окна	478
3.16.1. Остекление с функциями звукозащиты	481
3.17. Двери	483
3.18. Лестницы	484
3.19. Шум в инженерных системах	487
3.19.1. Водопровод питьевой воды	487
3.19.2. Трубопроводы канализации (водоотведение)	488
3.19.3. Санитарное оборудование	488
3.19.4. Устройства отопления и климатизации	489
3.19.5. Минимальные требования по звукозащите согласно DIN 4109	489



МИР КЛИМАТА

EXPO 2023

**EXPO
КОНГРЕСС
HVAC/R
ИНДУСТРИЯ**

**28 февраля-3 марта 2023
Москва, ЦВК «Экспоцентр»**

**18 лет
объединяем рынок**

climatexpo.ru

**Главное
отраслевое
событие года**



3.20. Определение общего уровня шума	494
3.20.1. Несколько одинаковых источников шума	494
3.20.2. Несколько различных источников шума	495
3.21. Шумозащита в градостроительстве	496
3.21.1. Виды шума	497
3.21.2. Виды источников шума	497
3.21.3. Шумозащитные стены	500
3.22. Удаление от источника шума	506
Глава 4. Пожарная защита	510
4.1. Пожар. Пожарная безопасность	510
4.2. Классы строительных материалов	511
4.2.1. Негорючие строительные материалы	511
4.2.2. Горючие строительные материалы	511
4.3. Отдельные строительные материалы	512
4.4. Строительные конструкции	515
4.5. Поведение строительных конструкций при пожаре	516
4.5.1. Классы огнестойкости	516
4.6. Специальные строительные конструкции	520
4.6.1. Брандмауеры	520
4.6.2. Огнезащитные заполнения проемов	521
4.6.3. Остекление	521
4.6.4. Вентиляционные короба, трубопроводы	523
4.6.5. Лестницы	523
4.6.6. Лестничные клетки	524
4.6.7. Коридоры	524
4.6.8. Пожарные отсеки	524
4.7. Некоторые примеры конструкций и их классы огнестойкости по DIN 4102, часть 4	525
4.8. Классы пожарозащиты согласно Европейскому стандарту	530
4.9. Классификация пожарных характеристик строительных материалов согласно Европейскому стандарту DIN EN 13501 и сравнение с DIN 4102, а также соответствующие требования	533
4.10. Характеристики строительных материалов и слоев строительной конструкции или целых конструкций	534
Глава 5. Строительная химия	535
5.1. Задачи строительной химии	535
5.2. Газы	536
5.2.1. Газы как причина повреждений	537
5.3. Кислоты	537
5.4. Щелочи	538
5.5. Показатель pH	539
5.6. Соли	540
5.7. Кругооборот извести	543
5.8. Коррозия	544
5.8.1. Электрохимический ряд напряжений по Гальвани	545
5.9. Цветные металлы	546
5.10. Вода как причина повреждений в строительстве	547
5.10.1. Вода как средство для создания растворов	547
5.10.2. Вода как участник химических реакций	547

5.10.3. Вода как средство переноса других веществ	547
5.10.4. Вода как взрывной фактор	548
5.10.5. Вода как фактор нанесения ущерба	548
5.10.6. Вода как фактор, способствующий росту	549
5.11. Кислоты как причина повреждений	549
5.11.1. Происхождение кислот	550
5.12. Фактор повреждений — щелочи	552
5.12.1. Происхождение щелочей	554
5.13. Соли как фактор повреждений	554
5.14. Повреждающий фактор — микроорганизмы	557
5.15. Правила для предотвращения строительных повреждений	558
Глава 6. Строительная светотехника. Естественное освещение	561
6.1. Общие положения	561
6.2. Основные понятия, величины, единицы	563
6.3. Инженерный метод расчета КЕО	565
6.4. Понятие о световом климате местности	586
6.5. Нормирование естественного освещения	593
6.6. Проектирование систем естественного освещения	596
6.7. Примеры проектирования и расчетов естественного освещения	602
Предметный указатель	611

ПРЕДИСЛОВИЕ

С началом нефтяного кризиса 1973 г. всем стало ясно, что разбазаривание жидкого горючего не может продолжаться так же, как прежде. Щадящее расходование запасов горючего и уменьшение выбросов CO_2 стало центральным пунктом политики. Следствием явился выход на основе закона об экономии энергии так называемых норм теплозащиты, последнее новейшее издание которых действует с 01.02.2002.

Ужесточенные требования к теплозащите не всегда остаются без последствий с точки зрения увлажнения. Слишком герметичные окна, непрофессионально выполненные мероприятия по теплозащите обуславливают внезапно появляющиеся повреждения от влажности там, где до этого никаких проблем не возникало. Следствием явилось то, что вслед за теплозащитой потребовалось уделять все больше внимания влагозащите. Обязательное испытание на воздухопроницаемость (Blower Door) предъявляет другие требования по влагозащите, которые касаются как строительной конструкции, так и действий пользователя здания.

Проблеме образования плесени в углах помещения вследствие все возрастающей воздухопроницаемости оболочки здания уделено особое внимание. Также рассматриваются причины появления водорослей, в частности на внешней стороне стен, оснащенных многослойными системами утепления фасадов.

Выросшие транспортные потоки, более плотная застройка, повышенные шумовые нагрузки на жильцов от радио, телевидения, громкоговорителей в последние годы сделали также и шумозащиту все большей заботой проектировщиков и заказчиков.

Будучи ранее узкой областью немногих специалистов, сегодня эти три раздела — теплозащита, влагозащита, шумозащита, которые считаются основными разделами строительной физики и неразрывно связаны между собой, становятся все большей ежедневной задачей проектировщиков и производителей в области строительства.

Защита от пожаров как четвертый раздел строительной физики также кратко рассмотрена в настоящей книге.

Нельзя было не привести в данной книге небольшой анализ современного состояния строительной химии. Только тот, кто имеет солидные знания в области строительной физики и строительной химии, в состоянии успешно вести работы по санированию зданий.

Таким образом, эта книга обращена к тем, кто хочет познакомиться с дисциплинами строительной физики и строительной химии, к тем, кто интересуется не только теоретическими вопросами, но и кто хочет использовать и рассматривать различные конструкции с точки зрения строительной физики. Полностью рассчитанные примеры беспроblemных и проблемных случаев должны облегчить читателю понимание предмета.

Книга рассчитана на мастеров, техников, студентов технических колледжей, технических вузов, технических университетов, на преподавателей ПТУ, архитекторов, инженеров, обучающихся сотрудников на предприятиях и не

в последнюю очередь на организаторов семинаров по повышению квалификации специалистов.

Данное **8-е издание** переработано с учетом новейших стандартов не только на европейском, но и на национальном уровне, а также положений постановления об энергосбережении.

Особое внимание уделено свойствам капиллярно активных теплоизоляционных материалов, в частности их применению в качестве внутренней теплоизоляции.

В настоящем издании также рассматриваются вопросы остекления и его характеристики с точки зрения теплозащиты при использовании в качестве теплоизоляционного или солнцезащитного остекления, в звукоизоляции или противопожарной защите.

Вальтер Блэзи

Нойрид-Ихенхайм, зима 2010/2011

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Книга немецкого ученого Вальтера Блэзи является попыткой совместить вопросы проектирования ограждающих конструкций со сложнейшим комплексом проблем строительной теплотехники, строительной акустики, звукоизоляции и пожарозащиты, а также строительной химии. В этом плане она является одной из первых попыток создать комплексную методику проектирования ограждающих конструкций, необходимость которой давно назрела.

В настоящее время проектирование ограждающих конструкций, которому традиционно уделялось мало внимания, ведется как бы отдельно по нескольким направлениям. Отдельно обеспечивается теплозащита ограждающих конструкций для зимних и летних условий, от нее отделяется их влажностный режим за годовой цикл увлажнения и высыхания. Отдельно рассматриваются вопросы звукоизоляции и пожарозащиты в основном для внутренних ограждающих конструкций. При этом вопросы строительной химии, как правило, вообще не рассматриваются. Аналогично ведется и преподавание в области проектирования ограждающих конструкций. При этом могут возникнуть, например, такие случаи, когда при дополнительном утеплении стен крупнопанельных зданий постройки 1970—1980-х годов вдруг резко нарушается их звукоизоляция и т.п. Комплексный подход к проектированию позволяет избежать таких явлений путем правильного подбора на стадии проектирования утеплителя и наружной отделки утепляемых стен.

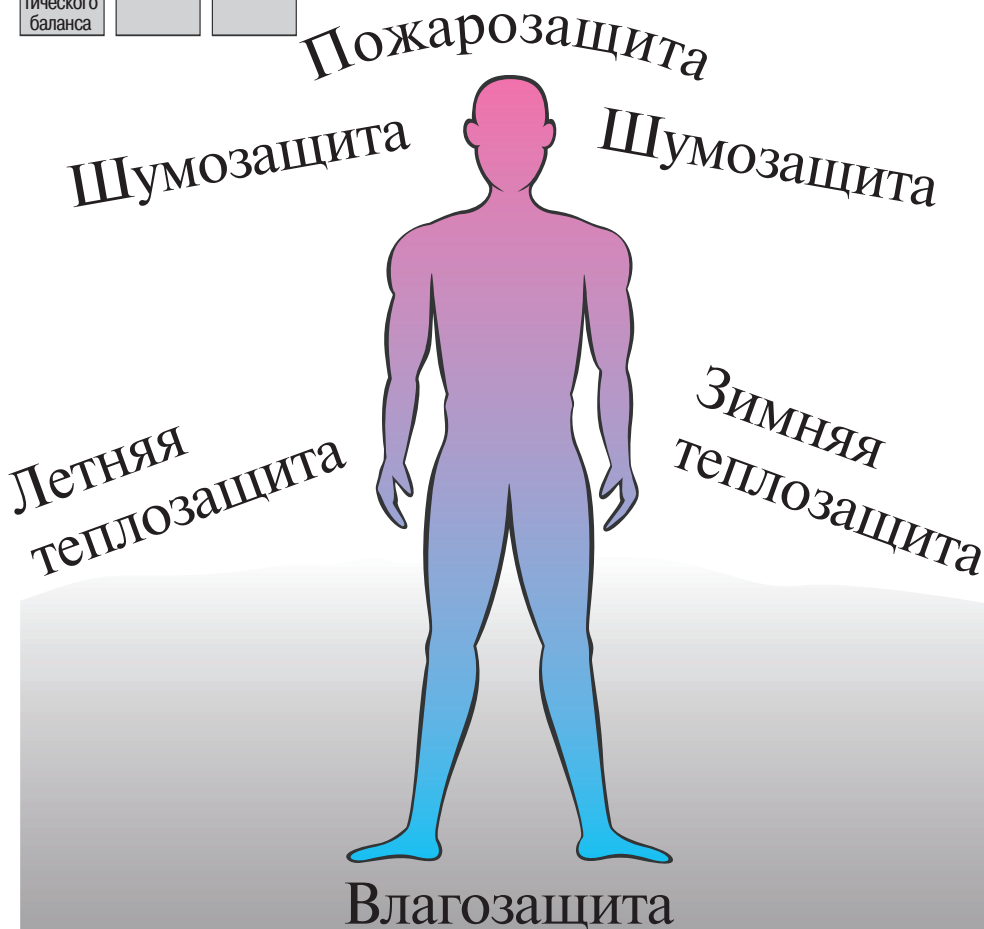
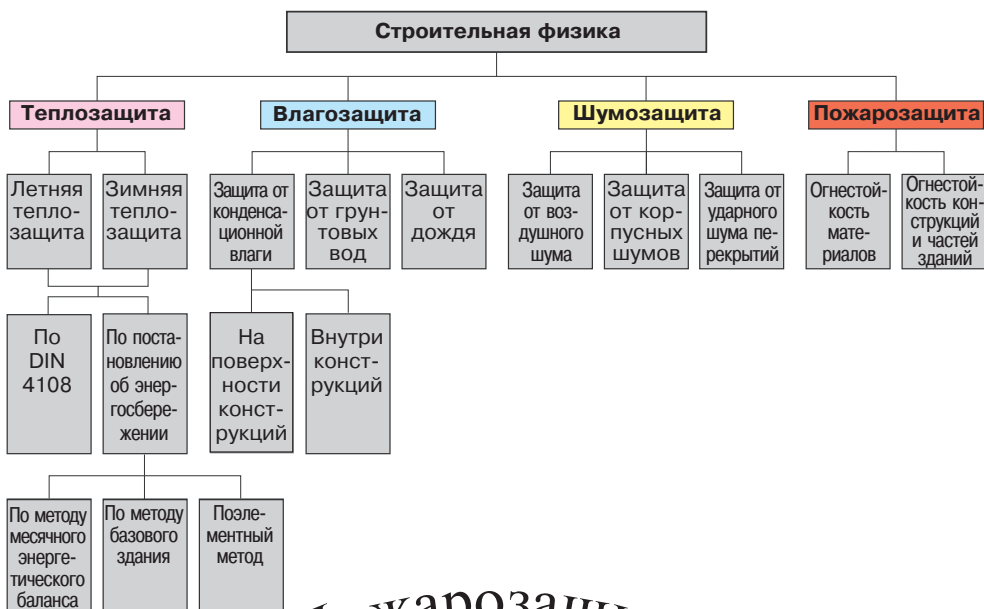
На первый взгляд, книга перегружена примерами. Однако их обилие в конечном итоге становится ее достоинством, т.к. ей удобно пользоваться как проектировщикам, получающим быстрый ответ на свои вопросы, так и преподавателям и студентам архитектурных и строительных высших учебных заведений.

При пользовании книгой следует учитывать, что все примеры приводятся для климатических условий Германии. Однако общие закономерности остаются справедливыми и для климата России.

Особый интерес вызовет сравнение приведенных в книге нормативных данных и методик со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» и соответствующим сводом правил к ним, в которых регламентируется подобный подход к проектированию общей теплозащиты по максимально допустимым теплототерям здания в целом. Это дает возможность воспитать осмысленный подход к вопросам теплозащиты зданий и к учету вопросов строительной физики при их проектировании.

Книга предназначена для проектировщиков гражданских и промышленных зданий, а также для преподавателей и студентов архитектурных и строительных высших учебных заведений. Кроме того, она может быть использована в системе повышения квалификации специалистов.

*А.К. Соловьев, профессор, доктор технических наук,
академик Европейской академии наук и искусств*



ГЛАВА I

ТЕПЛОЗАЩИТА

1.1. Основы теплозащиты

1.1.1. Задачи теплозащиты

1. Понятие о комфорте в помещении.

Здание должно не только служить убежищем, но и создавать комфорт и поддерживать здоровье.

Комфорт в помещении зависит от:

- Температуры внутреннего воздуха: оптимально 20—22 °С.
- Температуры внутренних поверхностей стен, ограждающих помещение: минимум 16—18 °С. В противном случае появляется ощущение сквозняка.
- Тепловой инерции (накопление тепла) стен, ограждающих помещения.
- Барачного микроклимата: быстрый нагрев, быстрое охлаждение.
- Температуры поверхности пола: оптимально 22—24 °С.
- Относительной влажности воздуха в помещении:
Нормально 50—60%
< 40% — сухость слизистой оболочки.
> 60% — тепличный климат.
- Движения воздуха: максимально 0,2 м/с.
> 0,2 м/с — ощущение сквозняка
- Деятельности человека: сидячая работа, подвижная работа.

2. Задачи, имеющие конструктивные причины.

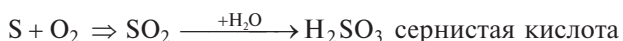
Напряжения вследствие влияния температуры ведут к повреждениям строительных конструкций (летом — температурное расширение; зимой — уменьшение размеров). Косвенные повреждения из-за воздействия влаги должны быть предотвращены.

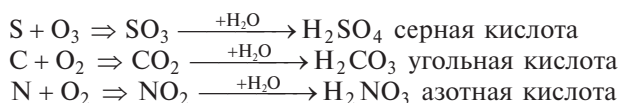
3. Задачи, вытекающие из условий экономии энергии.

Запросы людей возрастают, растет их жизненный уровень, сырьевые запасы становятся дефицитными продуктами, то есть они невоспроизводимы, их запасы ограничены. Расход энергии на отопление и охлаждение должен поддерживаться на минимально возможном уровне.

4. Задачи, вытекающие из условия защиты окружающей среды.

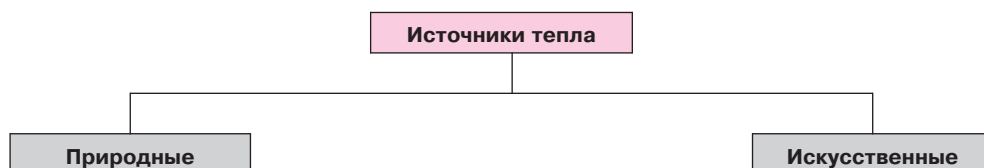
Сжигание жидкого топлива для отопительной цели и в качестве горючего усиливает нагрузку на окружающую среду вследствие образования вредных газов и кислот.





Для снабжения энергией имеются многие источники.

1.1.2. Источники тепла



1. *Солнце*. Солнечная энергия

(солнечная энергетика)

Солнечные коллекторы: вода нагревается в коллекторе и дает тепло потребителю воды (солнечные водонагревательные системы).

Солнечные фотоэлементы: кремниевые фотоэлементы преобразуют фотоэлектрическим путем солнечную энергию в электрический ток (фотовольтаика).

2. *Вода*. Тепловой насос: вода—вода.

Тепловая энергия отбирается у грунтовых вод, речной или морской воды и используется для подогрева потребительской воды.

Или: рекуперативное получение тепла из канализационной воды.

3. *Воздух*. Тепловой насос: воздух—вода.

Наружный воздух отсасывается, уплотняется в теплонасосе и таким образом отбирается тепловая энергия для нагрева потребительской воды. Или: рекуперация тепла из воздуха, отводимого из помещения при его кондиционировании.

4. *Земля*. Тепловой насос: соляной раствор—вода.

Тепловую энергию забирают в земле, расположенная зонды на глубине 60—100 м (геотермия, использование энергии горячих источников).

5. *Грунт*. Выращивание растений для получения горючего, например рапсовое масло, биодизель.

6. *Ветер*. Ветровые электростанции: производство электроэнергии.

1. Механические:

трение.

2. Химические:

уголь, нефть, газ.

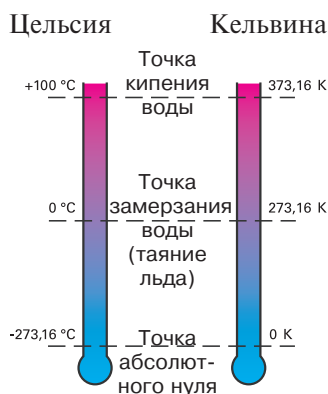
3. Электрические:

ток.

4. Атомные:

ядерная энергия.

Температурные шкалы



1.1.3. Геотермия

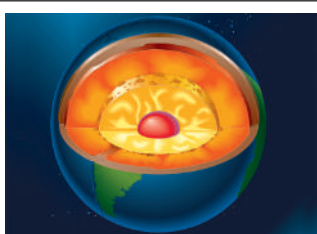
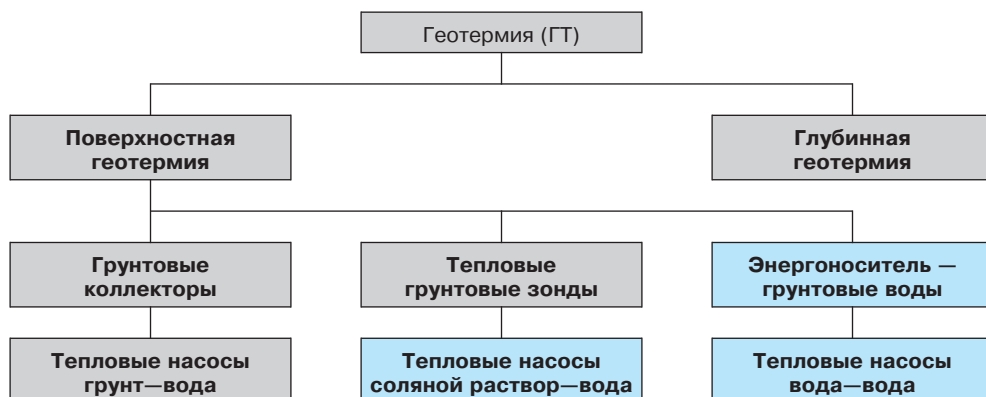


Рис. 1.1. Строение земли

Геотермия (греч. гео — земля, термия — тепло) обозначает тепловую энергию, которая находится в земле, но иногда наблюдается на поверхности в явном виде. Земля обладает большим энергетическим потенциалом, использование этого потенциала и является основной задачей геотермии.

Грунтовые коллекторы

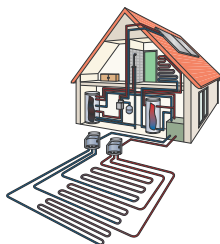


Рис. 1.2. Тепловые насосы грунт—вода

Уже на небольшой глубине, примерно 2 метра, возможно с помощью прокладки коллекторов (трубы из полиэтилена высокой плотности), проложенных как для систем напольного отопления, получать тепловую энергию из земли. Для этого требуются большие площади, что при сегодняшних размерах земельных участков делает невозможным использование этого вида геотермии. Кроме того, на рис. 1.2 видно, что выработка тепловой энергии грунта подвержена ежегодным сезонным колебаниям. Чтобы использовать тепловую энергию, накопленную в грунте под действием солнечного излучения, площади, на которых установлены коллекторы, не должны застраиваться.

Грунтовые зонды

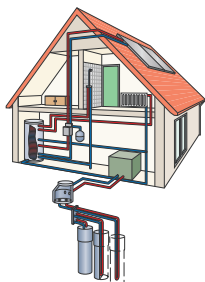
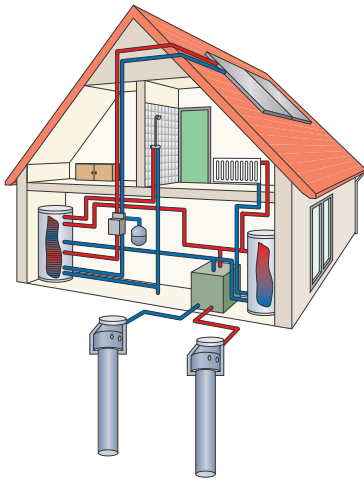


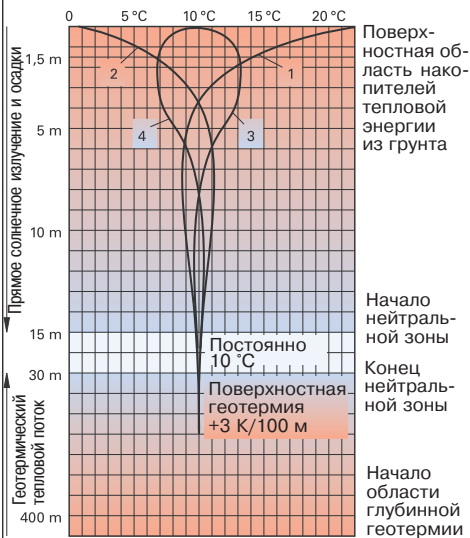
Рис. 1.3. Тепловые насосы рассол—вода

В качестве энергоносителя, то есть источника энергии, здесь также используется грунт. В зависимости от потребности в тепловой энергии устанавливаются несколько тепловых зондов в форме звезды под наклоном для предотвращения сильного точечного охлаждения области грунта. Граница, до которой разрешено использование территории, пролегает на глубине примерно 100 метров. Вокруг пробуренных отверстий для обеспечения полного контакта с грунтом требуется заполнение скважины вокруг зонда по всей поверхности. Только при полном контакте с грунтом обеспечивается оптимальная передача тепловой энергии на зонд. Грунтовые зонды из-за необходимости бурения стоят дороже, чем грунтовые коллекторы, однако зонды в течение всего года имеют диапазон температур примерно 12 °С, в то время как диапазон температур для грунтовых коллекторов в зависимости от времени года составляет от +5 до +15 °С.

Энергоноситель — грунтовые воды**Рис. 1.4.** Тепловые насосы вода—вода

Другая — и, может быть, наиболее часто используемая — возможность поверхностной геотермии (ГТ) заключается в использовании энергии, накопленной грунтовыми водами. Грунтовые воды в течение всего года имеют относительно одинаковую температуру, которая, однако, для тепловых насосов должна иметь достаточно высокий уровень для использования данных грунтовых вод в целях отопления.

В таких системах требуется наличие всасывающих и поглощающих колодцев. Эти всасывающие и поглощающие колодцы не должны располагаться рядом друг с другом для предотвращения смешивания с охлажденной примерно до 4 °C водой из области всасывающего колодца. Не каждый участок застройки позволяет производить установку всасывающих и поглощающих колодцев. Здесь хорошей альтернативой для термической энергии могут стать тепловые насосы типа соляной рассол—вода. Как тепловые насосы вода—вода (WWP), так и тепловые насосы рассол—вода (SWP) могут работать как реверсивные тепловые насосы, т.е. летом отводить энергию и обеспечивать охлаждение, а зимой производить тепловую энергию для отопления.

Глубинная геотермия**Поверхностная геотермия****Рис. 1.5.** График температур в земле: 1 — осень; 2 — зима; 3 — лето; 4 — весна

В то время как при поверхностной геотермии тепловые насосы используются для нагрева среды до более высоких температур, используемая в глубинной геотермии вода, хранящаяся на большой глубине, настолько горяча, что ее можно использовать с целью отопления в системах отбора тепловой энергии значительно большего размера или для получения электрической энергии. С помощью бурения геотермальная вода поставляется к месту ее использования (отбора тепловой энергии), а затем охлажденная вода посредством двух пробуренных скважин вновь возвращается в место ее хранения.

Различают:

1. Гидротермальные системы

Здесь речь идет о расположенных на большой глубине (200—5000 м) горячих источниках с температурами воды от 130 °C до 160 °C.

Основными аспектами для данных систем является температура, а также количество производимой воды.

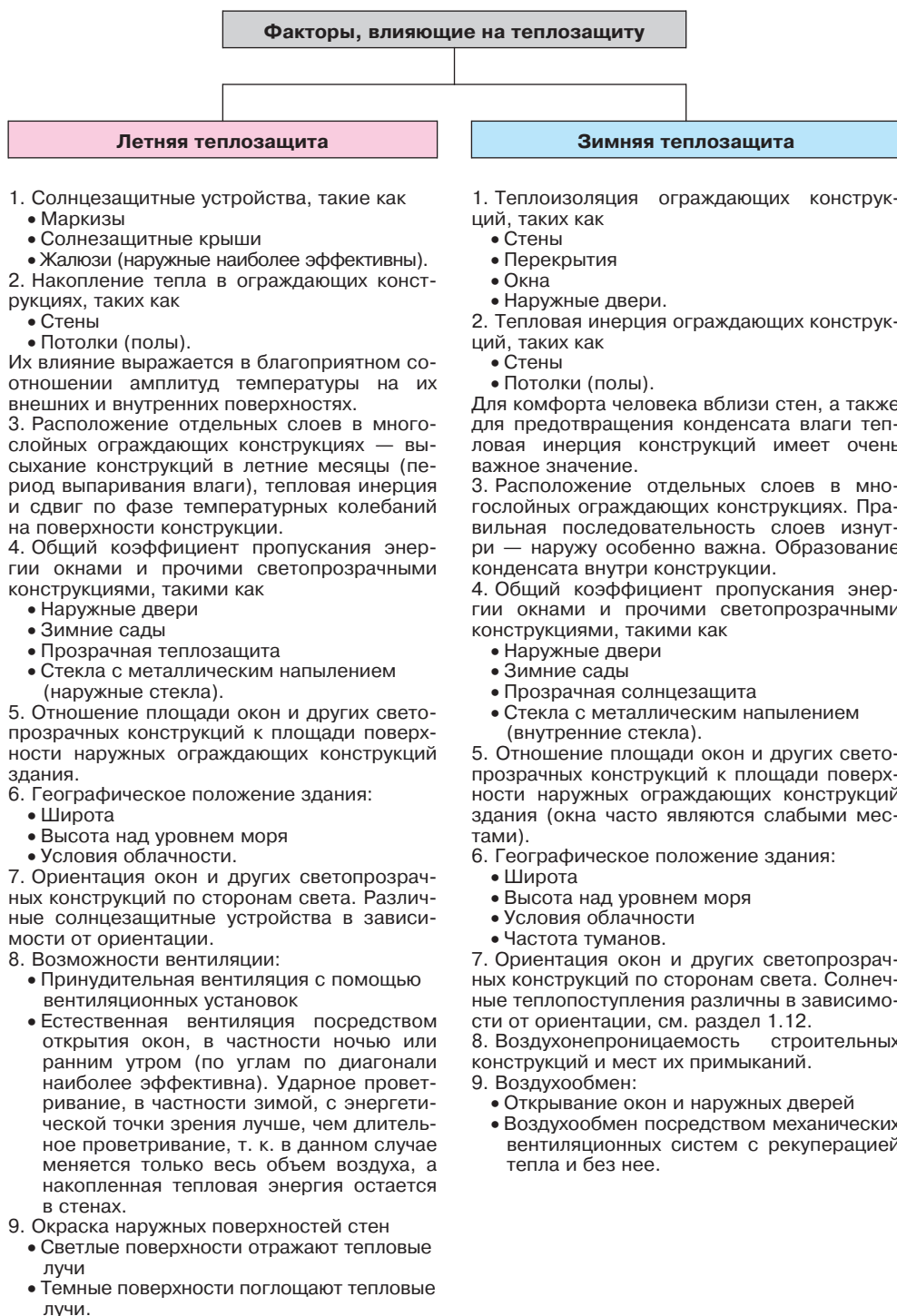
2. Петротермальные системы

В этих системах тепловая энергия забирается у «сухих» горных пород, преимущественно залегающих на большой глубине. Чем плотнее горная порода, тем больше энергии она может накопить, и тем быстрее происходит передача тепловой энергии из рециркуляционного контура в месте забора энергии.

В Германии из-за геологической структуры данная система может использоваться примерно на 90 %.

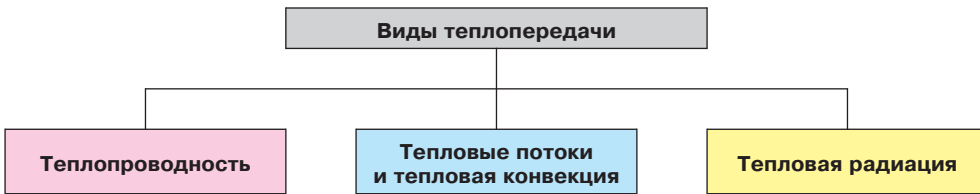
Температура увеличивается примерно на 3 °C (3 K) на каждые 100 метров увеличения глубины.

1.1.4. Факторы, влияющие на теплозащиту



1.1.5. Теплопередача

Причиной того, что в помещении имеют место примерно одинаковые температуры, независимо от расположения источников тепла, или того, что температура в помещении после отключения отопления понижается с различной скоростью, являются различные возможности передачи тепла.



Теплопроводность

Передача тепла от молекулы к молекуле у жестких материалов.

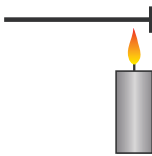


Рис. 1.6. Гвоздь становится горячим

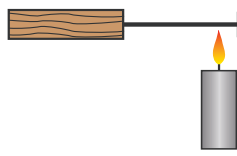


Рис. 1.7. Дерево не нагревается

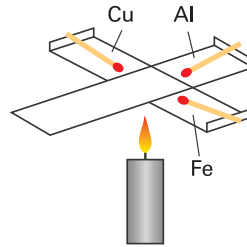


Рис. 1.8. Спички воспламеняются на различных металлах за различное время

Теплопроводность выражается измеренным значением коэффициента теплопроводности λ .

Чем меньше величина λ , тем лучше теплоизоляция.

Тепловые потоки и тепловая конвекция

Передача тепла вместе с потоком теплоносителя

Тепловой поток: в жидкостях Тепловая конвекция: в воздухе (газах)

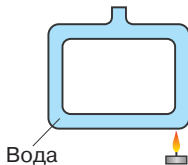


Рис. 1.9. Вода циркулирует в трубе и расширяется

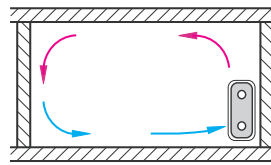


Рис. 1.10. Воздух циркулирует от отопительного прибора и к нему

Принцип: водяное отопление

Тогда как при теплопроводности молекулы остаются на месте, при тепловом потоке или конвекции тепло переносится изменяющими свое положение частичками вещества, имеющими определенный тепловой потенциал.

Конвекция происходит преимущественно следующим образом: воздух расширяется около поверхности отопительного прибора при нагревании. В результате уменьшается его плотность, и удельный вес становится меньше. Более легкий воздух поднимается вверх, охлаждается, снова становится тяжелее и опускается вниз. Так возникает круговорот, который распространяется почти на все помещение и сохраняет в нем примерно одинаковую температуру.

Тепловая радиация

Тепловая энергия с помощью радиации может передаваться как через заполненное воздухом, так и через безвоздушное пространство. Тепловые лучи имеют различные длины волн и не связаны с материей. Поэтому они без потерь могут пронизывать безвоздушное пространство (космос). Поступающие на тело тепловые лучи частично поглощаются, частично отражаются. Эффект поглощения используется в солнечных коллекторах, причем поверхность коллекторов окрашивается в черный цвет. Отражение используется, когда нужно задержать радиационное тепло в помещении, как, например, в случае покрытия отражающим слоем одного из стекол в стеклопакете.

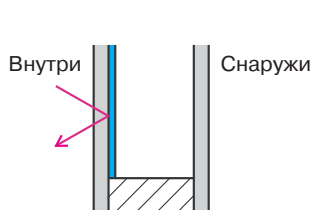


Рис. 1.11. Теплозащитный стеклопакет: покрытие на внутреннем стекле

Тепло должно быть задержано в помещении

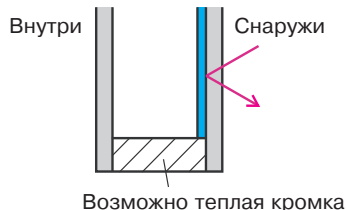


Рис. 1.12. Солнцезащитный стеклопакет: покрытие на наружном стекле

Тепло не должно попасть в помещение

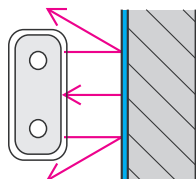


Рис. 1.13. Алюминиевая пленка: за отопительным прибором

Тепло должно отражаться в помещение

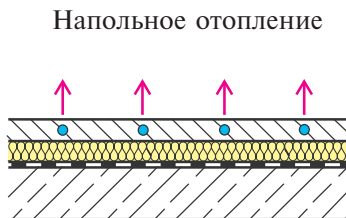


Рис. 1.14. Поверхность нагрева направляет тепловое излучение в помещение

1.2. Физические основы

1.2.1. Основные физические величины теплозащиты

1. Количество тепла Q , единица Вт · с

Под количеством тепла Q (Вт·с) понимают такое количество энергии, которое может быть отдано или воспринято телом при тепловом потоке (Вт) за секунду (1 с).

2. Теплопроводность λ

λ — маленькая греческая буква λ (произносится «ламбда»). Расчетная величина теплопроводности показывает количество тепла в Вт·с, которое проходит в стационарном режиме (при постоянно работающем отоплении) в 1 секунду через 1 м² слоя материала толщиной 1 м, когда разность температур на внешней и внутренней поверхностях слоя составляет 1 кельвин ($1 \text{ K} \triangleq 1 \text{ }^\circ\text{C}$).

Единица: $\text{Вт} \cdot \text{с} \cdot \text{м} / \text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{K} = \text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{K})$.

Чем больше λ , тем больше теплопроводность.
Чем меньше λ , тем лучше теплоизоляция.

Теплопроводность зависит от:

- **Плотности материала**

Воздух имеет очень хорошие теплоизоляционные свойства ($\lambda = 0,025 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$). Материалы с малой плотностью имеют, как правило, много воздушных пор, которые улучшают их теплоизоляционные свойства.

- **Вида величины и распределения пор**

Вид: круглые, шарообразные поры лучше, чем продолговатые.

Величина: много маленьких пор лучше, чем меньшее количество больших.

Распределение: равномерное распределение лучше, чем неравномерное.

- **Влагосодержания материала**

Оно зависит от:

- структуры материала (поры, строение),
- положения в конструкции (подход воздуха),

Количество тепла:

1 Дж = 1 Вт·с.

Тепловой поток:

1 Дж/с = 1 Вт.

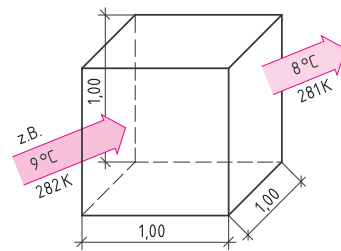
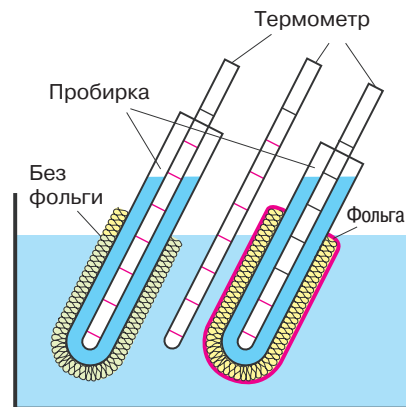


Рис. 1.15



Температура в пробирке равна температуре в корыте



Температура в пробирке меньше, чем в корыте

Рис. 1.16

- климатических воздействий (внутри—снаружи),
- из-за воздушных пор ($\lambda = 0,025 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$), заполненных водой ($\lambda = 0,64 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$), теплоизоляционные характеристики ухудшаются (пример — мокрое платье).

Увлажнение ухудшает теплоизолирующую способность.

• Температуры материала

Молекулы теплых материалов более подвижны, чем молекулы холодных материалов. Чем ниже температура материала, тем хуже теплопроводность. Чтобы получить сравнимые значения, DIN 4108 предписывает определять теплопроводность при температуре $+10^\circ\text{C}$.

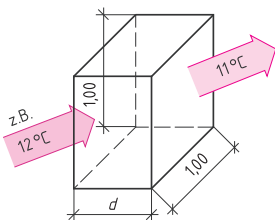


Рис. 1.17

3. Коэффициент теплопередачи Λ

(Λ — большая греческая буква ламбда)

Коэффициент теплопередачи показывает, какое количество тепла ($\text{Вт} \cdot \text{с}$) в стационарном режиме проходит через 1 м^2 элемента однородной ограждающей конструкции толщиной d (в м) за секунду (1 с), если разность температур поверхностей конструкции составляет 1 кельвин ($1 \text{ К} \triangleq 1^\circ\text{C}$).

Единица: $\lambda/d = \text{Вт/м} \cdot \text{К/м} = \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

4. Сопротивление теплопередаче R

Единица: $R (\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт})$.

Для оценки ограждающей конструкции с энергетической точки зрения является определяющим не то, какое количество тепловой энергии она пропускает, а то, как велико ее сопротивление пропусканию тепла.

Чем больше сопротивление теплопередаче конструкции, тем лучше ее теплоизолирующая способность.

Если конструкция состоит из нескольких слоев, то сопротивления теплопередаче отдельных слоев могут складываться.

$$R = \sum \frac{\text{Толщина отдельного слоя}}{\text{Его коэффициент теплопроводности}}$$

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}$$

Толщина слоя d измеряется в метрах (м)

5. Коэффициент теплообмена h

Коэффициент теплообмена h выражает количество тепла (в $\text{Вт} \cdot \text{с}$), которое в секунду (с) обменивается между 1 м^2 поверхности твердого материала и касающимся его воздухом, когда разница температур между воздухом и поверхностью материала составляет 1 кельвин.

Тогда как в строительной конструкции тепло передается вследствие теплопроводности, на поверхностях стен теплопередача осуществляется за счет радиации h_s и конвекции h_k .

Так, например, зимой наружная стена внутри холоднее, чем внутренний воздух, тогда как поверхность стены снаружи теплее наружного воздуха.

Для стен получается:

Внутренняя сторона: $h_i \approx h_k + h_s \approx 4 + 4 = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Наружная сторона: $h_e \approx h_k + h_s = 13 + 10 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Единица измерения: $\text{Вт} \cdot \text{с}/(\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}) = \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

h — *heat* (англ. тепло).

6. Сопротивление теплообмену $R_s \triangleq \frac{1}{h}$

Единица: $1/(\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}) = \text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$.

Сопротивление теплообмену зависит от:

- температуры воздуха,
- движения воздуха,
- характеристик поверхности стены (гладкая — шероховатая),
- расположения строительной конструкции (горизонтальная — вертикальная),
- направления теплового потока,
- конструктивного исполнения строительного элемента (однооболочковый — двухоболочковый).

7. Общий коэффициент теплопередачи U (величина U)

Под общим коэффициентом теплопередачи понимается вся транспортировка тепловой энергии от воздушного пространства через строительную конструкцию и снова в соседнее воздушное пространство за ограждающей конструкцией. В формулу общего коэффициента теплопередачи U наряду с сопротивлением теплопередаче R также входят сопротивления теплообмену $1/h_i$ и $1/h_e$ (в СНиП — α_v и α_n). Общий коэффициент теплопередачи U (величина U) представляет собой важнейшую характеристику строительной физики в теплозащите.

Под общим коэффициентом теплопередачи U понимают такое количество тепловой энергии, которое проходит за секунду (с) через 1 м^2 слоя материала толщиной d (в м) в установившемся режиме отопления, если разность температур внутреннего и наружного воздуха составляет 1 кельвин (К).

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_e}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

где U (англ. Unit of heat-transfer) — единица измерения теплопередачи U в $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; R (англ. resistance) — сопротивление; i — interior — внутри, с внутренней стороны; e — exterior — снаружи, с наружной стороны; s — surface — поверхность.

Величину U определяют в стационарных, т.е. лабораторных условиях. Ее нельзя определять в нестационарных, т.е. в неустановившихся условиях.

Для окон и других видов остекления даются сразу величины U .

8. Общее сопротивление теплопередаче R_T (в СНиП — R_0)

$$R_T = \frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_e}$$

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e}$$

Величина теплоизоляции (термического сопротивления) конструкции

Единица: $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Эту формулу обычно используют для расчета величины U ($R_T \rightarrow 1/x \rightarrow$ величина U). Эту формулу используют также для получения распределения температур внутри ограждающей конструкции.

9. Коэффициент удельной теплоемкости C

Под этим понимают количество тепла, которое необходимо для того, чтобы поднять температуру материала массой 1 кг на 1 кельвин (1 К).

Единица: $\text{Вт} \cdot \text{с} / (\text{кг} \cdot \text{К}) = \text{джоуль} / (\text{кг} \cdot \text{К})$.

10. Коэффициент теплопроницания b^1

Коэффициент теплопроницания дает сведения о том, какое количество тепла ($\text{Вт} \cdot \text{с}$) может проникнуть в материал через 1 м^2 его поверхности так, чтобы нагреть его на 1 К за время $c^{0,5}$.

Единица: $\text{Дж} / (\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot c^{0,5}) = \text{Вт} \cdot \text{С} / (\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot c^{0,5})$.

$$b = \sqrt{\lambda_R \cdot \rho \cdot c},$$

где λ в $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$; ρ в $\text{кг} / \text{м}^3$; c в $\text{Дж} / \text{кг} \cdot \text{К}$.

Большой коэффициент теплопроницания

Много тепла проникает в единицу времени в материал и мало тепла остается для нагревания воздуха в помещении.

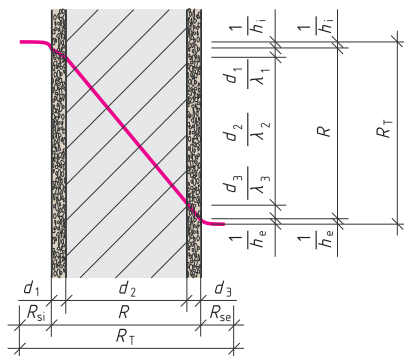


Рис. 1.18. График температур

R — сопротивление теплопередаче конструкции или термическое сопротивление.

¹ В российской теплофизике и в СНиП II-3-79* аналогичная величина связана с нестационарными условиями теплового режима и включает в себя круговую частоту колебаний температуры на одной из поверхностей ограждающей конструкции. Она называется коэффициентом теплоусвоения материала S ($\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$).

$S = \sqrt{\frac{2\pi}{z}} \cdot \lambda_R \cdot \rho \cdot c$, где z — период колебаний воздушной среды.

Следствие: помещение нагревается медленно.

Маленький коэффициент теплопроницания

Меньше тепла проникает в единицу времени в материал, при этом остается больше тепловой энергии для нагревания воздуха в помещении. Для полов и, соответственно, для нагревания стен коэффициент теплопроницания имеет решающее значение.

При одинаковой температуре бетонная поверхность ощущается более прохладной, чем деревянная. Для полов этот эффект, вследствие непосредственного контакта с телом человека, особенно заметен.

Таблица 1.1. Расчетные значения удельной теплоемкости c и коэффициента теплопроницания b

	c , Дж/кг·К	b , Дж/м ² ·К·с ^{0,5}
Алюминий	800	20785
Сталь	400	13735
Бетон	1000	2240
Легкий бетон	1000	930
Цементная стяжка	1000	1670
Известковая штукатурка	1000	1250
Цементно-песчаный камень	1000	990
Стеновой кирпич	1000	900
Легкий многопустотный кирпич	1000	510
Газобетон	1000	340
Пробка	1700	160
Пенопласты	1500	35
Минерало-волоконистые материалы	1000	30
Дерево	2100	400
Материалы на основе древесины	2100	400
Воздух	1000	14
Вода	4200	1630

Например: бетон $b = \sqrt{2,1 \cdot 2400 \cdot 100} = 2245 \text{ Дж/(м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{0,5})$.

Дерево $b = \sqrt{0,13 \cdot 600 \cdot 2100} = 405 \text{ Дж/(м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{0,5})$.

11. Теплонакопительная способность Q

Теплонакопительная способность играет большую роль как для летней, так и для зимней теплозащиты зданий.

Летом конструкции, ограждающие помещение, в течение дня накапливают часть тепловой энергии и отдают ее вечером и в ночные часы в охлаждающийся воздух помещения. Это позволяет избежать так называемого «барачного» климата.

Теплонакопительная способность тем больше,

- чем больше поверхностная плотность конструкции (в кг/м²),

- чем больше величина удельной теплоемкости c ,
- чем больше разность температур между конструкцией и воздухом.

Зимой конструкции, ограждающие помещение, в период работы отопления накапливают тепло и могут отдавать его в воздух помещения при отключении отопления. Кроме того, за счет теплонакопления достигается то, что вблизи стен не возникает ощущение сквозняков и стена может излучать тепло. Таким образом, улучшается самочувствие человека вблизи стены.

Основное требование.

Наружные конструкции $\Rightarrow$ высокая теплоизолирующая способность
 Внутренние конструкции $\Rightarrow$ высокая теплонакопительная способность
 $\Rightarrow$ надежная защита от воздушного шума

Накапливаемая тепловая энергия определяется по формуле:

$$Q = m' \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$m' = d \cdot \rho,$$

где m' в $\text{кг}/\text{м}^2$; c в $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$; $\Delta\theta$ в $^{\circ}\text{C}$ или К .

Единица: $\text{Дж}/\text{м}^2$.

Согласно DIN 4108 теплонакопительная способность рассчитывается для строительных конструкций толщиной не более 10 см. Правило 10 см учитывает тот факт, что при наружном расположении утеплителя в течение дневного/ночного цикла не вся накопленная энергия стены может перейти в помещение, а лишь то количество тепла, которое накапливается в слое толщиной 10 см, расположенном с более теплой внутренней стороны.

Пример.

Стена толщиной 24 см из пустотелого кирпича $\rho = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ имеет в среднем температуру 14°C . Температура воздуха в помещении составляет 17°C .

$$Q = m' \cdot c \cdot \Delta\theta = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 0,10 \text{ м} \cdot 1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 3\text{К}.$$

$$Q = 360000 \text{ Дж}/\text{м}^2.$$

$$Q = 0,10 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2.$$

1.2.2. Ощущение комфорта в помещении

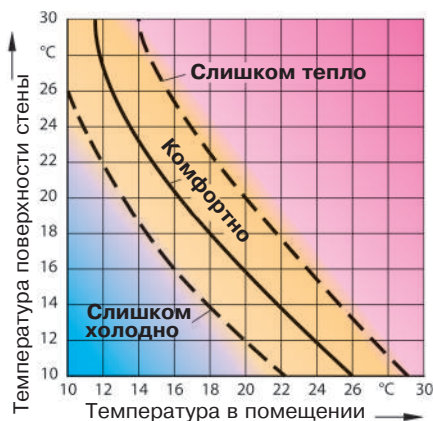


Рис. 1.19. График распределения комфортных температур в помещении

Оно зависит от следующих параметров.

Температура поверхностей стен

Чувствует ли человек себя комфортно в помещении, зависит не только от уже упомянутых факторов, но также и от теплового излучения поверхностей ограждающих это помещение конструкций. Мы чувствуем себя комфортно с точки зрения температуры в том случае, если внутренние поверхности стен зимой не более, чем на 3°C ниже, а летом не более, чем на 3°C выше температуры воздуха в помещении. Температура поверхностей стен зависит от их сопротивления теплопередаче (R).

Температура поверхности пола

Для полов, вследствие непосредственного контакта с телом человека через подошвы ног, справедливы другие значения. Для того, чтобы не отбирать у человека слишком много тепла, температура поверхности пола не должна быть ниже 15–20 °С. Здесь играет роль также продолжительность пребывания человека в помещении.

Согласно рис. 1.20. температура пола 15 °С ощущается еще приемлемой, если пребывание человека в помещении длится до 3 часов. Затем пол кажется уже прохладным, а через 3,8 часа — уже холодным.

Теплонакопительная способность стен¹

Теплонакопительная способность играет большую роль как для зимней, так и для летней теплозащиты. Так как способность к накоплению очень сильно зависит от плотности, то у тяжелых стен она лучше, чем у легких конструкций. Зимой помещения с большой теплонакопительной способностью при отключении отопления охлаждаются не так быстро, летом избыточная энергия в дневное время может накапливаться для того, чтобы ее отдать в воздух помещения в прохладные ночные часы.

Относительная влажность воздуха

Рис. 1.22 показывает, что мы чувствуем себя некомфортно, когда температура воздуха падает ниже –17 °С и, соответственно, когда она возрастает выше 26 °С, независимо от относительной влажности воздуха. Далее следует отметить, что с увеличением температуры воздуха мы ощущаем как комфортные все меньшие значения относительной влажности.

Движение воздуха

Движение воздуха может происходить через неплотные места в оболочке здания

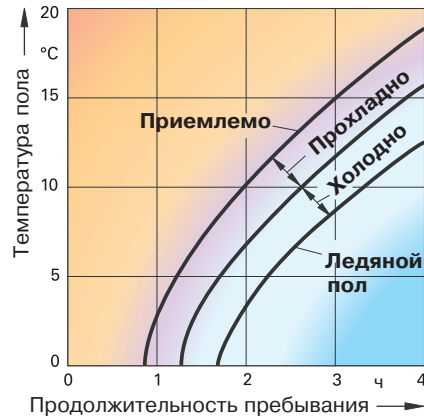


Рис. 1.20. График распределения комфортных температур пола в зависимости от времени пребывания человека в помещении

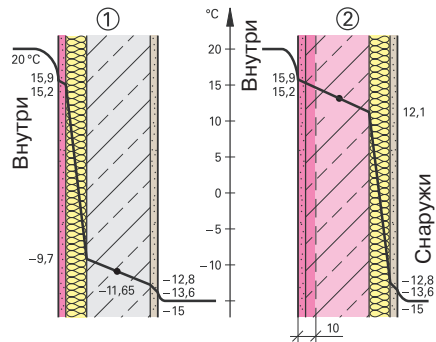


Рис. 1.21. Теплонакопительная способность: 1 — слой теплоизоляции внутри ⇒ малая теплонакопительная способность; 2 — слой теплоизоляции снаружи ⇒ большая теплонакопительная способность.

Эффективность аккумулирования тепла согласно DIN EN 13786 рассчитывается только для слоя, расположенного перед теплоизоляцией с внутренней стороны. Для обеспечения теплонакопительной способности могут использоваться только строительные материалы с величиной $\lambda \geq 0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$

¹ В российской строительной теплотехнике аналогичную роль выполняет понятие о массивности стены, характеризуемой величиной тепловой инерции D . $D = R \cdot S$, где R — сопротивление теплопередаче; S — коэффициент теплоусвоения.

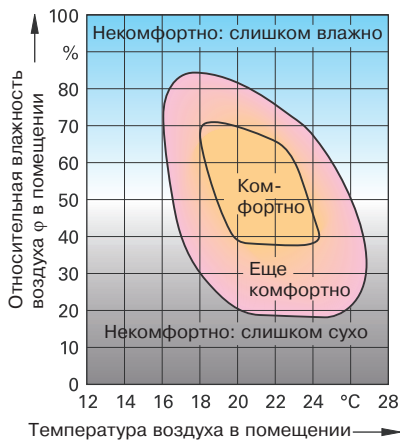


Рис. 1.22. Относительная влажность воздуха и ощущение комфорта

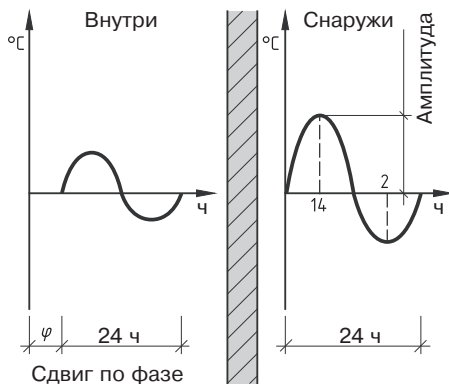


Рис. 1.23. Отношение амплитуд колебаний температур

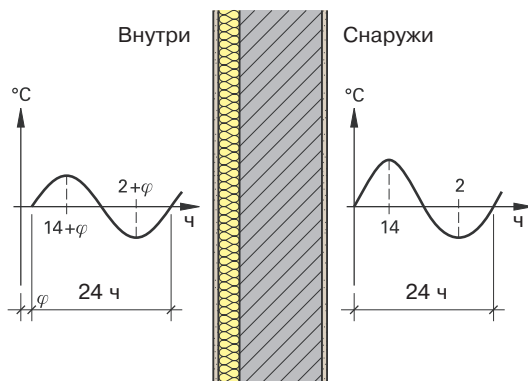


Рис. 1.24. Внутренняя теплоизоляция

(плоскость крыши, щели в окнах, кожухи жалюзи), а также за счет конвекции внутри здания. Если внутренние поверхности стен имеют малые температуры, из-за большой разницы температур между воздухом в помещении и поверхностью стены вблизи стены происходит конвекция, которая ощущается человеком как сквозняк.

Отношение амплитуд колебания температур TAV

Температура наружного воздуха в течение суток (дневная и ночная фазы) непостоянна. Колебания температуры влияют на распределение температур внутри конструкции и на температуру воздуха внутри помещения. Величина TAV для конструкции может считаться хорошей, если колебание температуры внутреннего воздуха меньше наружного и если волна тепловой энергии приходит вовнутрь со сдвигом по времени. Это возможно в том случае, если конструкции, ограждающие помещение, имеют хорошую теплонакопительную способность. На рис. 1.23 показано, что максимальные значения (амплитуда) колебаний температуры наружного воздуха во внутреннем воздухе гораздо меньше и энергетическая волна приходит в помещение со сдвигом по времени φ .

Значение величины TAV особенно возрастает в летние месяцы.

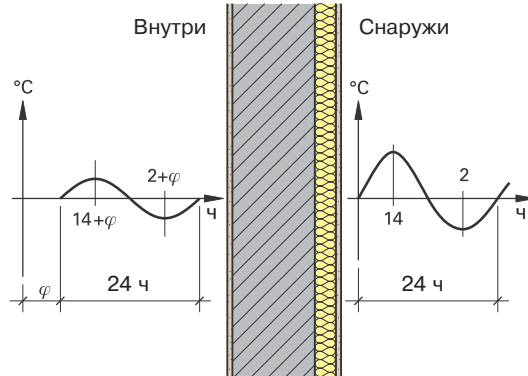
- Штукатурка представляет собой отдельную теплоаккумулирующую массу.

⇒ Относительно высокая температура помещения ⇒ Меньшие колебания температуры

⇒ Небольшой фазовый сдвиг, например 3 часа, то есть максимальная температура воздуха в помещении достигается со сдвигом в 3 часа относительно максимума наружной температуры

Рис. 1.25. Наружное расположение теплоизоляции

- Штукатурка и каменная кладка служат аккумуляторами тепла.
 $\Rightarrow$ Температура в помещении значительно ниже, чем наружная температура $\Rightarrow$ Значительное уменьшение колебаний
 $\Rightarrow$ Большой фазовый сдвиг, например 8 ч, что означает, что максимальная температура воздуха в помещении сдвинута на 8 часов относительно максимальной температуры наружного воздуха



Качество воздуха

Для качества воздуха определяющим является содержание углекислого газа (CO_2). Высокое содержание CO_2 вызывает головную боль, ощущение головокружения, возбуждение, рост артериального давления. Очень высокие концентрации CO_2 , около 10%, которые встречаются в погребах для брожения, ведут к смерти от отравления. Человек вдыхает в час около 500 л воздуха с содержанием CO_2 около 0,03% от объема, а выдыхает этот воздух уже с содержанием CO_2 около 4% от объема. При этом он потребляет в час около 33 л O_2 и вырабатывает около 25 л CO_2 .

Количество CO_2 в гигиенически безупречных жилых и рабочих помещениях не должно превышать 0,1% от объема воздуха. Чтобы поддерживать эту величину в помещении на человека в час требуется около 30 м³ наружного воздуха, содержание CO_2 в котором составляет около 0,03% от объема.



Рис. 1.26. От чего зависит комфорт в помещении

1.2.3. Возможности энергосбережения

- Земельный участок:
 - затенение деревьями или прилегающими постройками
 - ветер, его периодичность и сила
 - частота выпадения тумана
- Ориентация здания:
 - ориентация плоскости главной крыши на юг
 - зимние сады
 - получение солнечной энергии посредством тепловых солнечных батарей, фотоэлектрических батарей, прозрачной теплоизоляции
- Компактность:
 - A/V_c -соотношение максимально низкое
- Вид дома
 - сильно расчлененный фасад или прямые наружные стены (выступы или ниши в стенах)
 - эркеры
 - расположение дома в середине или в конце рядовой застройки, отдельно стоящий дом
- Вид строения в плане:
 - термическое зонирование
 - расположение отапливаемых помещений рядом с отапливаемыми помещениями
 - расположение неотапливаемых помещений рядом с неотапливаемыми
 - расположение неотапливаемых помещений в северной части здания
 - отопление помещений с очень большой высотой с помощью систем напольного отопления
- Теплоизоляция:
 - влияние на теплопотери через ограждающие конструкции
 - предотвращение повреждений от влажности
 - преимущественное использование наружной теплоизоляции
- Отопительные системы:
 - стандартный котел — низкотемпературный котел — конденсационный котел
 - использование возобновляемой энергии, например: солнечная энергия, биомасса, энергия воды, ветра, окружающего воздуха, геотермия и энергия приливов и отливов
- Солнечные установки:
 - активные солнечные установки: плоские или трубчатые коллекторы
 - пассивные солнечные установки: зимние сады, прозрачная теплоизоляция
 - окна
- Коэффициент энергозатрат системы:
 - соответствует обратной величине коэффициента полезного действия системы
- Инженерные системы:
 - вентиляционные системы
 - климатические системы
 - арматура (экономящая воду)

- Тепловые мостики: — ниши отопительных приборов, кожух для рольставней, балконы, лоджии, примыкания
- Воздухонепроницаемость: — негерметичность, примыкания, швы и стыки
- Термостаты: — возможность точного регулирования параметров
- Вентили: — экономичное потребление воды
- Бытовые приборы: — использование энергосберегающих бытовых приборов (холодильники, морозильники)
- Освещение: — использование энергосберегающих источников света

1.3. Расчеты, подтверждающие выполнение требований по теплозащите

1.3.1. Расчет для подтверждения выполнения требований по теплозащите согласно DIN 4108

Основы подтверждающего расчета согласно DIN 4108 представляют собой таблицы, приведенные ниже. Требования согласно DIN 4108 считаются выполненными в том случае, если для отдельных строительных элементов значение коэффициента сопротивления теплопередаче R получается не ниже указанных значений.

Таблица 1.2. Ориентировочные значения коэффициентов теплообмена согласно DIN EN 6946, а также DIN 4108-2

	Коэффициенты теплообмена		Сопротивления теплообмену	
	h_i	h_e	R_{si}	R_{se}
	Вт/(м²·К)		м²·К/Вт	
В теплозащите				
Направление теплового потока				
вверх	10	23 ^{1,2}	0,10	0,043 ^{1,2}
вверх	6	23 ^{1,2}	0,167	0,043 ^{1,2}
горизонтальный	8	23 ^{1,2}	0,125	0,043 ^{1,2}
в вентилируемом фасаде	8	12	0,125	0,083
Во влагозащите				
норма	6	23 ^{1,2}	0,167	0,043 ^{1,2}
при примыкающей и плотно стоящей мебели перед наружной стеной	5	23 ^{1,2}	0,20	0,043 ^{1,2}
Для предотвращения плесени				
в отапливаемых помещениях	4	23 ^{1,2}	0,25	0,043 ^{1,2}
в неотапливаемых помещениях	6	23 ^{1,2}	0,167	0,043 ^{1,2}

¹Во внутренних строительных конструкциях для обеих сторон используется значение R_{si} . При этом отапливаемое помещение граничит с неотапливаемым помещением.

²При примыкании к твердому веществу (грунт и т.д.) $h_e = \infty$ или $R_{se} = 0$.

- Под горизонтальным понимается направление теплового потока под углом $\pm 30^\circ$ к горизонтальной линии или соответственно для наклонных плоских конструкций (крыша) при $\alpha \geq 60^\circ$.

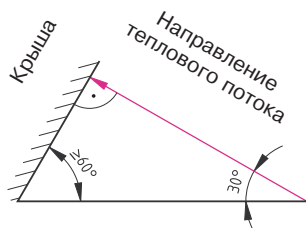


Таблица 1.3. Краевые условия по температуре для расчета тепловых мостиков согласно DIN ISO 10211

Часть здания или окружения	Температура, °C
Погреб	10
Грунт	10
Неотапливаемая буферная зона	10
Неотапливаемое чердачное помещение	– 5

Коэффициенты теплообмена h_i или h_e зависят от направления теплового потока.

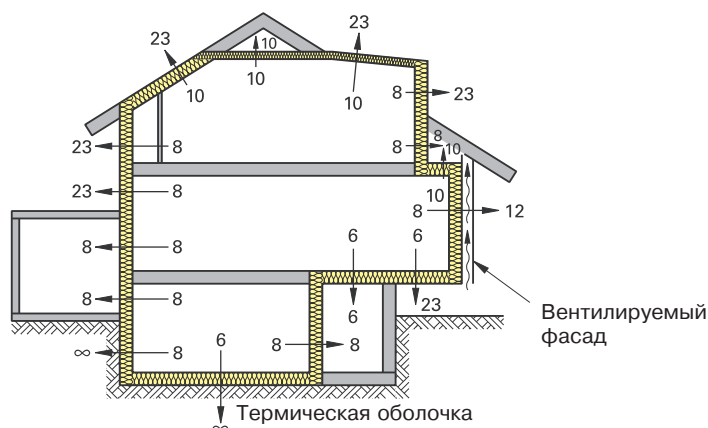


Рис. 1.27. Направление теплового потока

Примечание. Если изоляция проложена до основания крыши, то вертикальную стенку между скатом кровли и мансардой и соответствующие области перекрытия можно не учитывать.

Таблица 1.4. Теплоизоляция трубопроводов для подачи и распределения горячей воды, а также устройств арматуры

Строка	Виды трубопроводов или арматуры	Минимальная толщина слоя теплоизоляции ¹
1	Внутренний диаметр $d \leq 22$ мм	20 мм
2	Внутренний диаметр $22 \text{ мм} < d \leq 35$ мм	30 мм
3	Внутренний диаметр $35 \text{ мм} < d \leq 100$ мм	Равна внутреннему диаметру

Продолжение табл. 1.4

Строка	Виды трубопроводов или арматуры	Минимальная толщина слоя теплоизоляции ¹
4	Внутренний диаметр $d > 100$ мм	100 мм
5	Трубопроводы и арматура согласно строкам 1—4 — в местах пересечения стен и перекрытий — в области пересечения трубопроводов — в местах соединения трубопроводов — при центральных распределителях трубопроводной сети	Половина требований строк 1—4
6	Трубопроводы центрального отопления согласно строкам 1—4, которые были проложены после 31 января 2002 года в конструкциях между отапливаемыми помещениями различных пользователей	Половина требований строк 1—4
7	Трубопроводы в полу (напольное отопление)	6 мм
8	Трубопроводы для распределения и подачи холодной воды, а также систем кондиционирования	6 мм

¹Относительно группы теплопроводности 035.**Таблица 1.5.** Минимальные значения сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций по DIN 4108

Строка	Ограждающая конструкция	Сопротивление теплопередаче R в $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$
1	Наружные стены, стены эксплуатируемых помещений, отделяющие их от помещений в земле, проездов, открытых подъездов, гаражей, от земли	1,2
2	Стены между помещениями разных хозяев, межквартирные стены	0,07
3	Стены лестничных клеток	0,25
3.1	На лестничные клетки с температурой значительно ниже температуры в помещениях ($Q \leq 10^\circ\text{C}$)	
3.2	На лестничные клетки с температурой $Q > 10^\circ\text{C}$, как например в административных зданиях, магазинах, учебных зданиях, отелях, ресторанах и жилых зданиях	0,07
4	Перекрытия между жилыми этажами, разделяющие квартиры, перекрытия между рабочими помещениями, принадлежащими разным хозяевам, перекрытия под помещениями между складами крыш и стенами мансарды	0,35
4.1	Везде	
4.2	В административных зданиях с центральным отоплением	0,17
5	Нижняя граница зданий без подвалов с постоянным пребыванием людей	0,90
5.1	Пол по грунту при глубине помещения до 5 м	
5.2	Перекрытие над неветилируемым подпольем	0,90
6	Чердачные перекрытия в случае холодных чердаков: перекрытия под полупроходными или еще более низкими помещениями; перекрытия между вентилируемыми застрехами кровель и вертикальными стенками мансард, утепленные скатные кровли мансард	0,90

Продолжение табл. 1.5

Строка	Ограждающая конструкция	Сопротивление теплопередаче R в $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$
7	Перекрытия над подвалами, над закрытыми неотапливаемыми тамбурами и т.п.	0,90
8	Перекрытия и крыши, которые отделяют эксплуатируемые помещения от наружного воздуха	1,75 ¹
8.1	Над гаражами (в т.ч. неотапливаемыми), проездами и вентилируемыми полупроходными подпольями	
8.2	Под крышами, перекрытиями под террасами, крыши перевернутого типа	1,2
9	Рамные и каркасные конструкции	1,75
9.1	Возле перегородок	
9.2	Как среднее значение	1,0
10	Кожух рольставней	0,55
10.1	Для карниза	
10.2	Как среднее значение	1,0

¹Повышенное значение из-за холодного пола.

Минимальные значения этой таблицы действительны для всех ограждающих конструкций с поверхностной массой минимум $100 \text{ кг}/\text{м}^2$ и температуры в помещении минимум 19°C . Минимальные значения действительны также для наиболее неблагоприятных мест.

Требования к отдельным строительным элементам согласно табл. 1.5.

• Стены

Минимальные параметры теплозащиты должны обеспечиваться **в любом месте**. Это относится в частности для ниш под окнами, подоконным стенкам, оконным перемычкам, к наружным стенам около отопительных приборов, трубных каналов, особенно если в этих каналах проложены водопроводные трубы. Для двухоболочковых наружных стен с воздушной прослойкой теплоизоляция воздушной прослойки и наружной оболочки считается обеспеченной, если **толщина наружной оболочки составляет минимум 90 мм**. Это относится также к деревянным конструкциям с преимущественно вентилируемыми оболочками из кладочного камня. Если толщина облицовочной оболочки составляет менее 90 мм, то она рассматривается как обшивка или фасадная плита и поэтому не может использоваться в расчетах, также в расчетах не учитывается воздушная прослойка.

• Легкие ограждающие конструкции

Для наружных стен, чердачных перекрытий в холодных чердаках и для крыш с поверхностной общей массой менее $100 \text{ кг}/\text{м}^2$ требуется большая теплозащита $R \geq 1,75 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$. В рамных и каркасных сооружениях эти значения справедливы только вблизи перегородок. Для всей ограждающей конструкции в среднем эта величина должна составлять $1,0 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$.

- **Ограждающие конструкции с утеплителем**

При расчетах сопротивления теплопередаче R учитываются только слои, расположенные со стороны помещения **до утеплителя строительной конструкции** (выше гидроизоляционного слоя под плитами пола или соответственно под оболочкой крыши для плоских крыш).

Исключениями из этого являются (здесь слой теплоизоляции учитывается в расчетах):

- теплоизоляционные слои, которые для крыш перевернутой конструкции расположены на оболочке крыши,
- теплоизоляция по периметру (расположенная снаружи теплоизоляция стен здания, контактирующая с грунтом), если она не находится в постоянном контакте с грунтовыми водами. Постоянно присутствующих застойных вод или воды под напором в области теплоизоляционного слоя необходимо избегать.

- **Окна / остекленные двери**

Выходящие наружу окна и двери в отапливаемых помещениях необходимо остеклять изоляционным (стеклопакеты) или двойным остеклением.

Если доля непрозрачной части заполнения составляет более 50% от всей площади, то должны быть выполнены требования согласно таблице. Если доля составляет менее 50 %, то сопротивление теплопередаче должно составлять $R \geq 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

- **Напольное отопление**

Для напольного отопления в расчетах учитываются только слои, расположенные **под плитой стяжки**.

- **Перекрытия самого верхнего этажа**

Если для неотделанного чердачного помещения самого верхнего этажа (строка 6) или для легких конструкций выполняются повышенные требования, то теплозащита крыши не требуется.

- **Вертикальные стены между скатами кровли и мансардой**

Для отделанных чердачных помещений с вертикальными стенами теплоизоляция между скатами крыши и помещением чердачной мансарды должна быть выполнена **до нижнего края крыши**.

- **Стеклянные пристройки**

Стеклянные пристройки (зимние сады) должны выполнять требования по теплозащите, предъявляемые к ограждающим конструкциям. То же относится к разделительным перегородкам и перекрытиям, к не отапливаемым коридорам, лестничным клеткам и входам в подвальное помещение.

- **Кожух для рольставней**

Для карниза, на котором расположен кожух для рольставней, должно соблюдаться значение $R \geq 0,55 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, для всего кожуха рольставней $R \geq 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

- **Здания с низкими температурами внутри помещений**

Здесь действуют значения согласно таблице 1.5 за исключением строки 1. В этом случае действует значение $R \geq 0,55 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Стандарт DIN 4108¹

- учитывает только строительно-физические величины;
- требует соблюдения минимальных значений сопротивления теплопередаче R для различных строительных конструкций, например: наружные стены; разделительные перегородки между отдельными квартирами; стены лестничных клеток; плиты перекрытий; перекрытия над подвалами; перекрытия, отделяющие помещения для пребывания людей от наружного воздуха;
- требует выполнения минимальных предписаний по сопротивлению теплопередаче для ниш, оконных перемычек, рольставней. Наилучшим вариантом для этих конструкций было бы соблюдение величин, минимум равных характеристикам остального участка стены;
- требует соблюдения требований по теплозащите для разделительных перегородок между зданием и стеклянными пристройками (зимними садами);
- требует соблюдения минимальных значений для легких строительных конструкций с массой менее 100 кг/м^2 ;
- позволяет распознать слабые с энергетической точки зрения места в конструкции;
- защищает строительные материалы и строительные конструкции от слишком больших температурных напряжений (напряжения в результате изменения температуры);
- содержит требования по воздухопроницаемости наружных строительных конструкций;
- требует повышенной теплозащиты в области тепловых мостиков при наличии трубопроводов с горячей водой;
- требует минимальной теплозащиты также для зданий с низкими температурами внутри помещений;
- требует соблюдения в местах примыкания кожухов рольставней к прилегающим конструкциям (стена, окно) минимального температурного коэффициента $f_{Rsi} \geq 0,70$.

1.3.2. Среднее значение величины U/R

Ограждающая конструкция часто состоит из частей с различными коэффициентами теплопередачи.

Стена: плоскость стены — ниша — откос — окно.

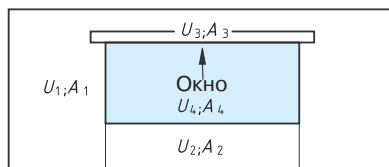


Рис. 1.28. Среднее значение величины U/R

¹Положения стандарта DIN 4108 приведены с целью ознакомить российских специалистов с элементами нормирования сопротивления теплопередаче таких конструкций, которые в российских нормах обычно не учитываются в теплотехнических расчетах. — Прим. ред.

$$U_m = \frac{U_1 \cdot A_1 + U_2 \cdot A_2 + \dots + U_n \cdot A_n}{\text{общ. } A}$$

$$R_m = \frac{\text{общ. } A}{\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

Если требуется рассчитать среднее значение величины U балочного чердачного перекрытия с балками и межбалочным заполнением, то можно вместо площадей нижних плоскостей балок и межбалочного заполнения применять в расчетах только их ширину, т.к. длина этих элементов одинакова.

$$U_m = \frac{U_1 \cdot b_1 + U_2 \cdot b_2}{100\%}$$

$$R_m = \frac{b_1 + b_2}{\frac{b_1}{R_1} + \frac{b_2}{R_2}}$$

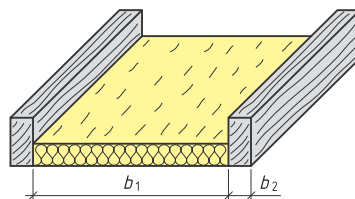


Рис. 1.29. Среднее значение величины U/R

Для каркасных конструкций с заполнением соотношение площадей деревянной части и заполнения часто выражают в процентах.

$$U_m = \frac{U_1 \cdot p_1 + U_2 \cdot p_2}{100\%}$$

$$R_m = \frac{100\%}{\frac{p_1}{R_1} + \frac{p_2}{R_2}}$$

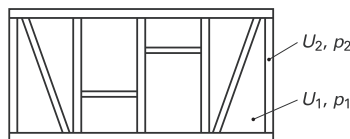


Рис. 1.30. Среднее значение величины U/R

Пример 1.

Каркас

$$R_{T1} = \frac{1}{10} + \frac{0,22}{0,13} + \frac{1}{23};$$

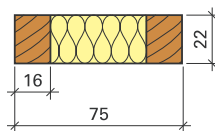
$$U_1 = 0,54 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Заполнение каркаса

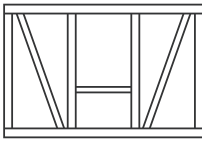
$$R_{T2} = \frac{1}{10} + \frac{0,22}{0,035} + \frac{1}{23};$$

$$U_2 = 0,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$U_m = \frac{U_1 \cdot b_1 + U_2 \cdot b_2}{b_1 + b_2} = \frac{0,54 \cdot 0,16 + 0,16 \cdot 0,59}{0,75} = 0,24 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$



Пример 2.



Толщина стенки 17 см
Заполнение глиной
 $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$
Доля деревянных элементов 26%

Заполнение каркаса

$$R_{T1} = \frac{1}{8} + \frac{0,17}{0,30} + \frac{1}{23};$$

$$U_1 = 1,36 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Деревянные элементы

$$R_{T1} = \frac{1}{8} + \frac{0,17}{0,13} + \frac{1}{23};$$

$$U_2 = 0,677 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$U_m = \frac{1,36 \cdot 74 + 0,677 \cdot 26}{100};$$

$$U_m = 1,18 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Пример 3.

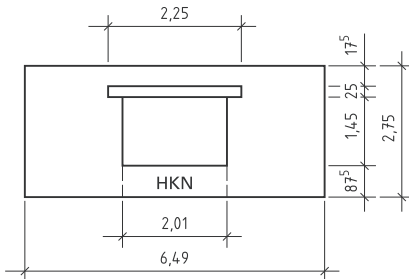


Рис. 1.31. Стена с нишей отопительного прибора

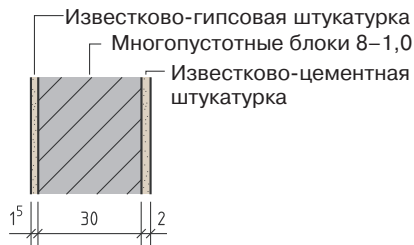


Рис. 1.32. Стена



Рис. 1.33. Перемычка

В нише отопительного прибора толщина кладки составляет 11,5 см.

Окно $U = 1,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}; g = 0,6$.

Решение:

Стена

$$R_T = \frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,70} + \frac{0,030}{0,45} + \frac{0,02}{1,0} + \frac{1}{23};$$

$$U_{AW1} = 1,14 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Ниша отопительного прибора

$$R_T = \frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,70} + \frac{0,115}{0,45} + \frac{0,02}{1,0} + \frac{1}{23};$$

$$U_{AW2} = 2,15 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Перемычка

$$R_T = \frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,70} + \frac{0,025}{0,08} + \frac{0,12}{2,5} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,02}{1,0} + \frac{1}{23};$$

$$U_{ST} = 0,55 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Ниша отопительного прибора

$$A_{AW2} = 2,01 \cdot 0,875 = 1,76 \text{ м}^2.$$

Окно

$$A_W = 2,01 \cdot 1,45 = 2,91 \text{ м}^2.$$

Перемычка

$$A_{ST} = 2,25 \cdot 0,25 = 0,56 \text{ м}^2.$$

Стена

$$A_{AW1} = 17,85 - 5,23 = 12,62 \text{ м}^2.$$

$$U = \frac{U_1 \cdot A_1 + U_2 \cdot A_2 + U_3 \cdot A_3 + U_4 \cdot A_4}{\text{Общая площадь } A};$$

$$U_m = \frac{1,14 \cdot 12,62 + 2,15 \cdot 1,76 + 0,55 \cdot 0,56 + 1,3 \cdot 2,91}{17,85} = 1,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Пример 4.

Толщина стены 14 см.

Глина $\rho = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$.

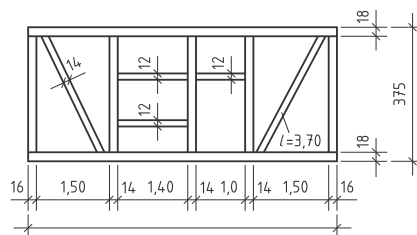


Рис. 1.34. Каркасная стена

Доля деревянных элементов

Подбалка	$A = 6,14 \cdot 0,18 = 1,105 \text{ м}^2$
Верхняя обвязка	$A = 6,14 \cdot 0,18 = 1,105 \text{ м}^2$
Угловая стойка	$A = 3,39 \cdot 0,16 \cdot 2 = 1,085 \text{ м}^2$
Распорки	$A = 3,70 \cdot 0,14 \cdot 2 = 1,036 \text{ м}^2$
Стойка косяка двери	$A = 3,39 \cdot 0,14 \cdot 2 = 0,949 \text{ м}^2$
Поперечина косяка двери	$A = 1,0 \cdot 0,12 = 0,12 \text{ м}^2$
Стойка окна	$A = 3,39 \cdot 0,14 = 0,475 \text{ м}^2$
Поперечина окна	$A = 1,40 \cdot 0,12 \cdot 2 = 0,336 \text{ м}^2$
	$A_{\text{дер}} = 6,21 \text{ м}^2$

Общая площадь $A = 6,14 \cdot 3,75 = 23,03 \text{ м}^2$.

Доля заполнения $A = 16,82 \text{ м}^2$.

Деревянная часть

$$R_{T1} = \frac{1}{8} + \frac{0,14}{0,13} + \frac{1}{23}; \quad U_1 = 0,80 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Доля заполнения

$$R_{T2} = \frac{1}{8} + \frac{0,14}{0,25} + \frac{1}{23}; \quad U_2 = 1,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$U_m = \frac{0,80 \cdot 6,21 + 1,37 \cdot 16,82}{23,03} = 1,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$p = \frac{100\% \cdot 16,82}{23,03}.$$

Заполнение

$$p = 73,04 \%; \quad p = \frac{100\% \cdot 6,21}{23,03}.$$

Деревянная часть

$$p = 26,96 \%.$$

Пример 5.

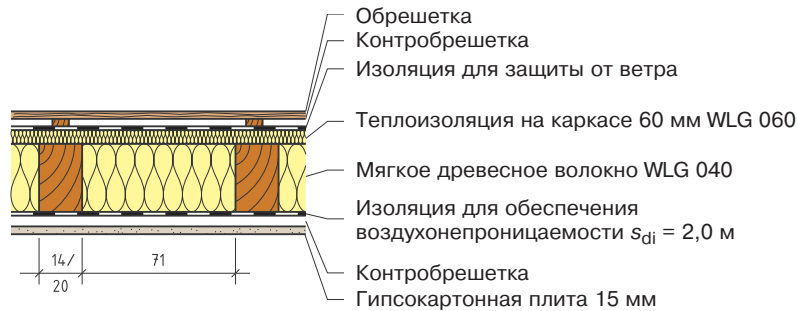


Рис. 1.35. Конструкция крыши

Область каркаса

$$R_T = \frac{1}{10} + \frac{0,015}{0,25} + 0,16 + \frac{0,20}{0,13} + \frac{0,06}{0,06} + \frac{1}{23};$$

$$U_1 = 0,345 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Область заполнения

$$R_T = \frac{1}{10} + \frac{0,015}{0,25} + 0,16 + \frac{0,20}{0,04} + \frac{0,06}{0,06} + \frac{1}{23};$$

$$U_2 = 0,345 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$U_m = \frac{0,345 \cdot 0,14 + 0,157 \cdot 0,71}{0,85} = 0,19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Более точный способ: так как каркас и панели заполнения не занимают целую площадь, сначала определяют средний коэффициент сопротивления теплопередаче. В результате этого R_{si} и R_{se} учитываются в расчетах только один раз.

Однако разность между точным решением и приближительным решением пренебрежимо мала.

Для определения распределения температуры в такой конструкции можно использовать следующий способ.

$$R_m = \frac{b_1 + b_2}{\frac{b_1}{R_1} + \frac{b_2}{R_2}} = \frac{0,14 + 0,71}{\frac{0,14}{0,20} + \frac{0,71}{0,20}} = 3,648 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$R_T = \frac{1}{10} + \frac{0,015}{0,25} + 0,16 + 3,648 + \frac{0,06}{0,06} + \frac{1}{23} = 5,01 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$U_m = 0,20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

1.3.3. Общий энергетический коэффициент пропускания g

Окна и остекленные двери являются светопрозрачными конструкциями. Так как они пропускают свет, они пропускают также и тепло, в особенности в форме теплового излучения.

Пропускание энергии оценивается энергетическим коэффициентом пропускания g . Так, например, энергетический коэффициент пропускания, равный 0,7, означает, что через окно проходит 70% падающей на него энергии.

Оптимальные варианты остекления имеют величину $U_g = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ и величину $g = 0,6$. Пространство между стеклами заполняется инертными газами аргоном или криптоном. Выбор материала покрытия зависит от того, должно ли это стекло выполнять теплоизоляционные или солнцезащитные функции.

Низкие коэффициенты энергетического пропускания требуются:

Летом: снаружи — вовнутрь.

Этим должен предотвращаться перегрев воздуха в помещении.

Зимой: изнутри — наружу.

Этим должны предотвращаться слишком большие теплопотери.

Это достигается с помощью:

Летом:

- Установки солнцезащитных устройств, таких как маркизы, жалюзи, солнцезащитные перголы и навесы;
- Нанесения отражающего слоя на наружное стекло со стороны межстекольного пространства.

Зимой:

- Нанесения отражающего слоя на внутреннее стекло со стороны межстекольного пространства.

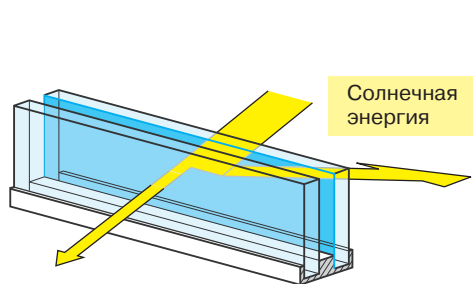


Рис. 1.36. Нанесение отражающего слоя снаружи

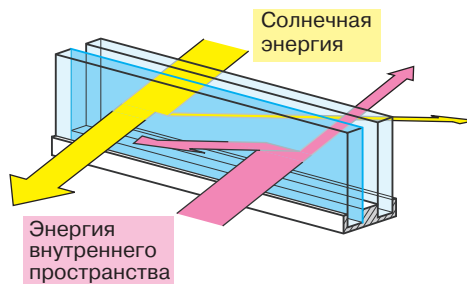


Рис. 1.37. Нанесение отражающего слоя изнутри

С помощью нанесения отражающего слоя большая часть поступающей тепловой энергии будет отбрасываться обратно в помещения, т.е. будет отражена и останется в воздухе помещения.

Таблица 1.6. Общий энергетический коэффициент пропускания g согласно DIN 4108

Строка		Остекление	g
1	1.1	Двойное остекление из обычного оконного стекла	0,8
	1.2	Тройное остекление из обычного оконного стекла	0,5
2		Стеклоблоки	0,6
3		Многослойное остекление со специальными стеклами (теплозащитные, солнцезащитные стекла) ¹	0,2 до 0,8

¹Общие энергетические коэффициенты пропускания g специальных стекол могут быть различны в зависимости от окраски, напыления или обработки поверхностей. Нанесение отражающего слоя на наружное стекло происходит тогда, когда необходимо обеспечить защиту от слишком сильного солнечного облучения. Нанесение такого слоя на внутреннее стекло необходимо тогда, когда требуется пропускать тепловое излучение снаружи, но отбрасывать тепло внутреннего пространства обратно в помещение.

Таблица 1.7. Коэффициенты F_c , учитывающие уменьшения поступления тепловой энергии в помещение за счет стационарных солнцезащитных устройств (СЗУ)¹

Строка	Наличие СЗУ и их свойства	Понижающий коэффициент F_c
1	Без СЗУ	1,0
2	Внутренние или расположенные между стеклами ²	
	2.1 Белые или отражающие поверхности с малым светопропусканием ³	0,75
	2.2 Светло-окрашенные с малым светопропусканием ³	0,80
	2.3 Темная окраска с большим пропусканием ³	0,90
3	Наружные	
	3.1 Жалюзи, а также материалы с низким светопропусканием ³	0,25
	3.2 Жалюзи, а также материалы с высоким светопропусканием ³	0,40
4	Козырьки, лоджии	0,50
5	Маркизы, обычные ⁴	0,50

¹Солнцезащитное устройство должно быть стационарным, т.е. прочно смонтированным. Декоративные занавески не считаются солнцезащитными устройствами.

²В зависимости от типа СЗУ рекомендуется более точное определение действия этого устройства, т.к. могут быть и более низкие значения. При отсутствии более точных сведений следует применять менее выгодные значения.

³Светопропускание СЗУ ниже 10% считается малым, а выше 30% — высоким.

⁴Необходимо проверить отсутствие прямого попадания солнечного света на окно. Если это так, то при ориентации на восток или запад $\beta \geq 85^\circ$, $\gamma \geq 115^\circ$, при ориентации на юг $\beta \geq 50^\circ$.

1.4. Подтверждение выполнения требований теплозащиты согласно постановлению об энергосбережении (EnEV)

1.4.1. Постановление об энергосбережении и его связь с национальными стандартами

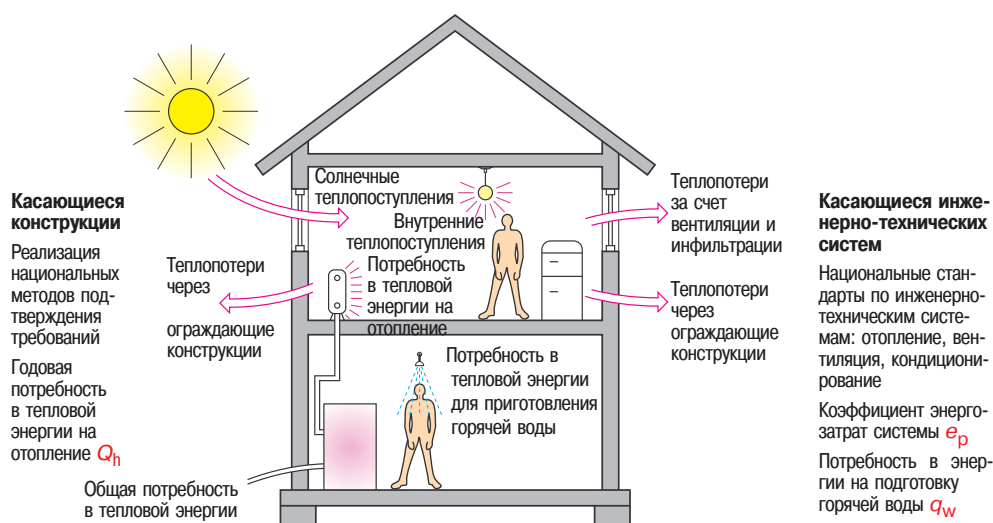
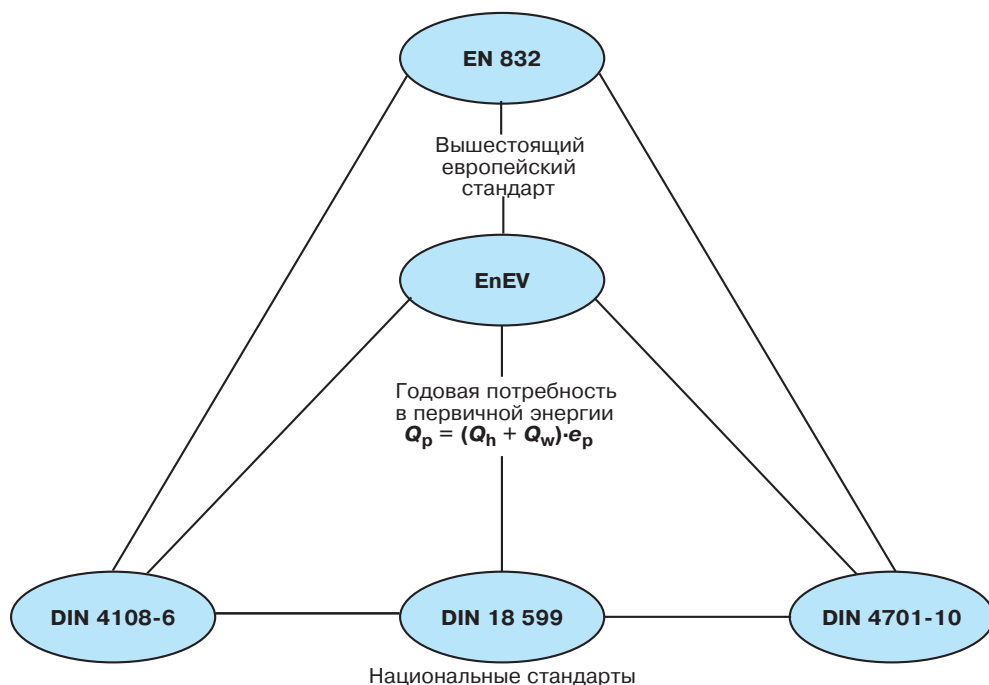
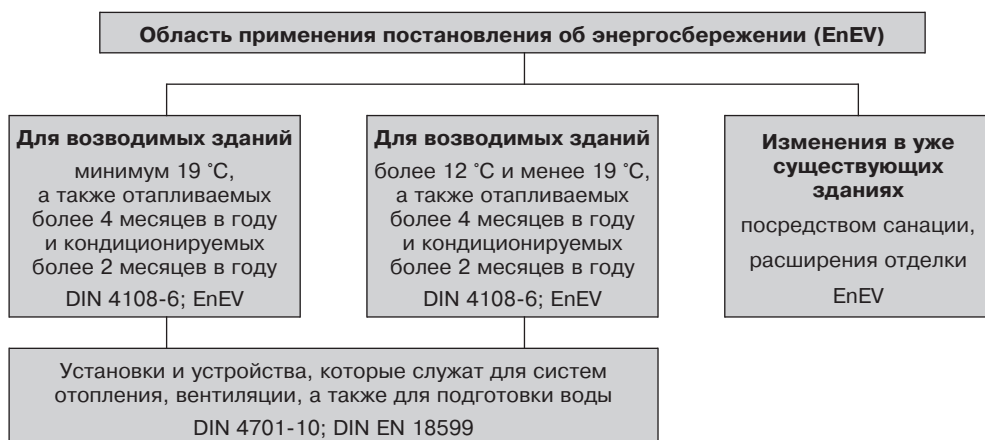


Рис. 1.38. Теплопотери и теплопоступления

Как для учета конструктивных особенностей, так и для инженерно-технических систем предлагаются подробные и упрощенные методы расчетов для подтверждения выполнения требований по теплозащите, эти методы расчета также можно комбинировать между собой.

1.4.2. Область применения постановления об энергосбережении



EnEV не распространяется на:

- промышленные здания, которые используются преимущественно для разведения или содержания животных,
- промышленные здания большой площади, которые в течение длительного времени должны оставаться открытыми,
- подземные строения и постройки,
- парниковые конструкции и помещения для разведения, размножения и продажи растений,
- несущие каркасные конструкции, шатры и прочие здания, которые подвергаются неоднократной сборке и разборке,
- временные здания с запланированным периодом использования до 2 лет,
- здания, используемые для богослужения или других религиозных целей,
- жилые здания, которые предназначены для использования в течение менее 4 месяцев в году,
- производственные здания, которые должны охлаждаться до температуры внутри помещения менее 12 °C или отопляются в течение менее 4 месяцев в году, а также кондиционируются менее 2 месяцев в году.

Исключения:

- памятники строительства,
- прочие строительные сооружения, если мероприятия по теплозащите ухудшат внешний вид или другие мероприятия потребуют чрезмерно высоких

затрат, в этом случае по запросу может быть получено освобождение от выполнения требований EnEV,

- по запросу административные власти могут освободить от выполнения требований EnEV, если это требует несоизмеримых затрат для собственника или создаст для него слишком жесткие условия. Таким обстоятельством считается тот факт, когда требуемые затраты не окупятся в течение обычного периода использования данной постройки.

Постановление об энергосбережении (EnEV) предоставляет большую свободу при проектировании. Сейчас возможно найти компромисс между стандартами по теплозащите и параметрами инженерных систем.

Например, если фасад по эстетическим причинам не может иметь теплоизоляции, то EnEV позволяет прийти к компромиссу с помощью более эффективных систем отопления.

Архитекторы, проектировщики несущих конструкций, а также инженерных систем уже на стадии предварительного проектирования должны эффективно сотрудничать друг с другом.

Требования EnEV могут быть выполнены:

- посредством усиленной теплозащиты,
- посредством эффективных инженерных систем,
- посредством использования возобновляемой энергии,
- с помощью систем рекуперации тепла.

Постановление об энергосбережении предъявляет требования, изложенные в DIN 4701-10, DIN 18599, к следующим инженерным системам:

- отопительная техника,
- вентиляционная техника (искусственная приточная и вытяжная вентиляция, климатехника),
- система подготовки воды.

Теплота сгорания различных видов топлива

Топливо	Теплота сгорания (низшая), кВт·ч/кг
Каменный уголь	9,3
Бурый уголь	5,8
Тяжелый мазут	10,9
Легкий мазут EL	10 кВт·ч /л
Жидкий газ	13,0
Городской газ	4,5 кВт·ч /м³
Древесина (воздушносухая)	4,1
Древесные гранулы (пеллеты)	5,0
Щепа	650 кВт·ч / насыпной кубометр

1.4.3. Основные методы расчета согласно постановлению об энергосбережении

Критерии	Обзор основных методов расчета отопливаемые или кондиционируемые помещения			
Строительные мероприятия	- Для возводимых зданий с $A_{NF} > 50 \text{ м}^2$ - Расширение зданий $15 \text{ м}^2 < A_{NF} \leq 50 \text{ м}^2$ - Отделка зданий			
Температура в помещении	Здания (жилые и нежилые) с температурой внутри помещения $\theta \geq 19^\circ\text{C}$, которые отапливаются более 4 месяцев в году, а также кондиционируются более 2 месяцев в году Нежилые здания с температурой внутри помещения $12 < \theta < 19^\circ\text{C}$. Период использования более 4 месяцев Здания в старом фонде при санации. Расширение. Отделка. А также для малых зданий с $A_{NF} \leq 50 \text{ м}^2$ и продолжительностью использования максимум 5 лет			
Тип здания	Жилые здания	Нежилые здания	Нежилые здания	Жилые здания и нежилые здания
Методы расчета	Метод месячного энергетического баланса по базовому зданию	Метод месячного энергетического баланса по базовому зданию	Поэлементный метод	Поэлементный метод
Критерий выполнения требований	Непревышение значений для максимально допустимого q_p базового здания, а также H'_T согласно табл. 1.24	Непревышение значений для максимально допустимого q_p базового здания, а также H'_T согласно табл. 1.24	Непревышение максимально допустимых значений U	Максимально допустимые значения U согласно таблице не должны быть превышены. При расширении и отделке дополнительно не должно быть превышено максимально допустимое H'_T согласно табл. 1.24

К жилым зданиям относятся: квартиры, дома престарелых и инвалидов, а также им подобные учреждения, клиники. Больницы, наоборот, относятся к нежилым зданиям.

$q_p (\triangleq Q_p'')$ — годовая потребность в первичной энергии, в пересчете на отапливаемую полезную площадь здания.

H'_T — удельные теплопотери через ограждающие конструкции, или коэффициент теплопотерь через ограждающие конструкции, относительно площади теплопередающей оболочки.

1.4.4. Термины и определения постановления об энергосбережении

Зона

Область здания, средняя температура воздуха в которой отличается минимум на 4 °C от температуры в других частях здания.

Зонирование

Расположение теплых помещений внутри, а более холодных снаружи здания.

Границы системы

Теплопередающая оболочка образует границы системы. Части здания, которые находятся за пределами отапливаемой области, расположены вне границ системы.

Площадь теплопередающей оболочки A

Суммарная площадь всех частей здания, например стен, потолков, полов, чердака и крыши, окон, дверей, которые граничат с наружным воздухом, грунтом или с неотапливаемыми помещениями и передают тепло (отдельные площади определяются по наружным размерам).

Объем brutto V_e

Объем brutto V_e — это ограничиваемый теплопередающей оболочкой объем, который определяется по наружным размерам здания, включая возможные слои теплоизоляции и облицовочной оболочки.

Отношение A/V_e

Этим отношением выражается компактность, т.е. различные формы здания. Чем меньше отношение A/V_e , то есть отношение площади теплопередающих ограждающих конструкций к отапливаемому объему строения (определяемому по наружным размерам), тем меньше теплотери.

Вентилируемый объем V

Объем воздуха (объем нетто) отапливаемой зоны с регламентируемым воздухообменом, который служит, с одной стороны, для обеспечения гигиены в помещении, а с другой стороны вызывает теплотери за счет вентиляции и инфильтрации воздуха. Определяется на основе размеров помещения в свету.

Коэффициент энергозатрат системы e_p

Этот коэффициент выражает отношение потребляемой системой первичной энергии к отдаваемой ей полезной тепловой энергии (отопление, подготовка теплой воды). Коэффициент энергозатрат системы e_p также позволяет сравнить друг с другом различные системы с точки зрения эффективности использования первичной энергии. Если используется возобновляемая энергия типа древесных пеллет, тепловых насосов или получаемая с помощью солнечных батарей, значение e_p может быть даже меньше 1.

$$e_p = \frac{Q_p}{Q_h + Q_w}$$

По диаграммам раздела 11.1 также видна взаимосвязь между характеристиками строительных конструкций и инженерно-техническим оборудованием: чем меньше q_h , тем выше может быть e_p .

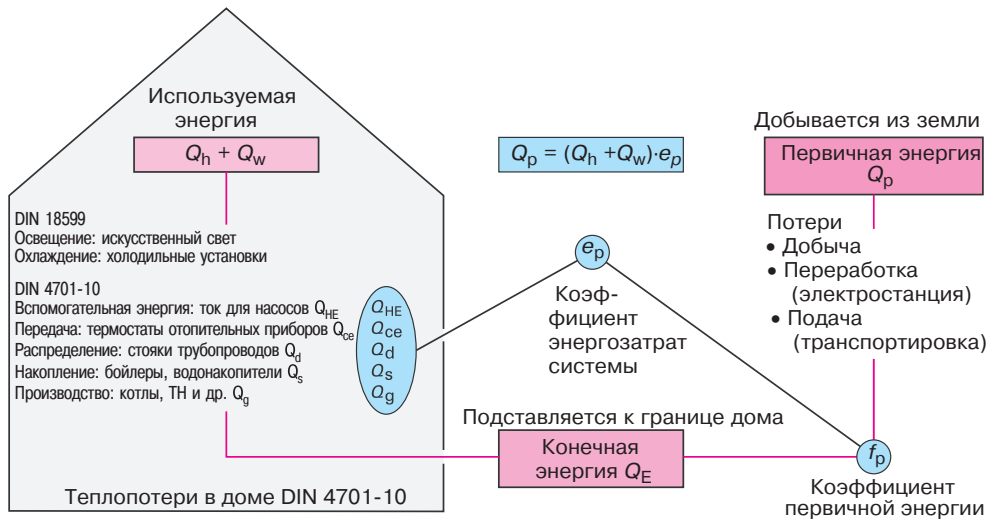


Рис. 1.39. Теплопотери в доме

Коэффициент энергозатрат системы e_p учитывает все составляющие теплопотерь в результате:

- генерирования энергии q_g (g — generation — генерирование)
- накопления q_s (s — storage — хранение)
- распределения q_d (d — distribution — распределение)
- контроля и передачи q_{ce} (ce — control and emission — контроль и передача)
- коэффициента первичной энергии f_p $f = 1,1$ для масла, газа, угля
- вспомогательной энергии q_{HE} электрический ток для насосов

Расход энергии

Измеренное количество энергии, которое фактически потребляется зданием.

Потребность в энергии

Определяемая расчетным методом величина необходимого количества энергии на основе краевых условий, определенных в соответствующих стандартах и EnEV.

Потребность в тепловой энергии на отопление Q_h

Количество тепловой энергии, которое должно быть предоставлено отопительными приборами отапливаемому зданию или частям здания для поддержания желаемой температуры в помещениях.

Потребность в тепловой энергии на отопление здания может зависеть от следующих факторов:

- географическое положение,
- соседняя застройка (затенение, ветер),
- форма здания (сильное или слабое členение),
- отношение A/V_e ,

- наличие высоких деревьев (затенение),
- коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций (теплопотери через ограждающие конструкции),
- общий энергетический коэффициент пропускания энергии остеклением,
- доля площади окон,
- ориентация окон относительно сторон света,
- воздухонепроницаемость здания,
- пристроенные буферные помещения типа зимних садов,
- предотвращение образования тепловых мостиков,
- автоматические вентиляционные установки с рекуперацией тепла,
- использование солнечных теплопоступлений.

Потребность в тепловой энергии на отопление здания зависит от:

- теплопотерь через ограждающие конструкции,
- теплопотерь за счет вентиляции и инфильтрации воздуха вследствие обмена воздуха из теплого помещения и наружного холодного воздуха через открытые окна, а также через стыки окон,
- солнечных теплопоступлений в результате солнечной радиации через прозрачные и непрозрачные части конструкции,
- внутренних теплопоступлений вследствие работы электрических приборов, освещения, присутствия людей.

Общая потребность в энергии

Сюда относится общее количество энергии, которое должно быть подведено к зданию для покрытия потребности в тепловой энергии для отопительной системы здания.

Сюда входят потери системы отопления при передаче, распределении тепла, накоплении и генерации тепловой энергии. Эти потери выражаются коэффициентом энергозатрат системы. Малый коэффициент энергозатрат системы характеризует более эффективную отопительную систему.

Коэффициент использования η

Коэффициент, выражающий, какая часть теплопоступлений (внутренних Q_i , солнечных Q_s) фактически представляет собой теплопоступления, которые можно использовать повторно.

Теплонакопительная способность C_{wirk}

Способность части конструкций поглощать и накапливать тепловую энергию. Эффективная теплонакопительная способность любой части является той частью общей теплонакопительной способности, которая влияет на потребность в тепловой энергии на отопление и на температуру в помещении. Эффективная теплонакопительная способность влияет на продолжительность отопительного периода и по-разному определяется для лета и для отопительного периода.

Возобновляемые виды энергии

Возобновляемая энергия может использоваться для отопления, охлаждения, вентиляции, а также подготовки теплой воды. К возобновляемой энергии относятся:

- солнечная энергия (солнечные коллекторы, системы фотовольтаики),

- тепловая энергия окружающей среды: тепловые насосы вода—вода, тепловые насосы воздух—вода,
- тепловая энергия земли (тепловые насосы соляной источник — вода),
- глубинная геотермия,
- биомасса (твердая, жидкая, газообразная),
- энергия ветра.

Воспроизводимая энергия:

- древесина (щепа, пеллеты),
- рапс (рапсовое масло).

Вспомогательная энергия

Энергия, которая необходима для работы инженерных систем, например регулирующей техники, насосов и др.

Режимы работы отопительной системы

Время выключения

Отопительная система не работает и поэтому не поставляет тепловую энергию.

Время нагрева

Отопительная система включена и отдает тепловую энергию при полной нагрузке.

Редуцированный режим

Количество отдаваемой тепловой энергии зависит от температуры наружного воздуха. Отопительная система работает при частичной нагрузке.

Пониженный режим

В данном режиме задается пониженная температура по сравнению с заданной температурой, которая выставляется независимо от температуры наружного воздуха.

Этот режим преимущественно используется в ночные часы:

— 7 часов для жилых зданий,

— 10 часов для офисных и административных зданий.

Пониженный режим работы или полное отключение отопительной системы позволяют не только экономить энергию, но и часто способствуют решению проблем образования влажности, вызывающей образование плесневых грибов.

Потери

Количество энергии, которая улетучивается из здания в результате теплопроницания (теплопередачи через ограждающие конструкции) или за счет вентиляции через окна (открытые окна, оконные стыки) и отдается наружному воздуху.

Коэффициент поступления солнечного тепла

Определяемая расчетным методом величина для оценки поступления солнечной тепловой энергии через прозрачные строительные конструкции.

Градусо-дни

Градусо-дни рассчитываются по сумме превышений предельной температуры отопления ($10\text{ }^{\circ}\text{C}$) над среднесуточной температурой по количеству дней отопительного периода.

Предельная температура отопления

Под предельной температурой отопления понимают такую температуру наружного воздуха, при превышении которой здание с заданной температурой внутреннего воздуха больше не должно отапливаться, а может обходиться использованием солнечного и внутренних теплопоступлений.

Предельная температура отопления зависит от:

- уровня теплоизоляции,
- солнечных и внутренних теплопоступлений,
- географического положения здания (базовый регион).

Градусо-сутки отопительного периода $G_{t_{x/y}}$

Представляют собой сумму дневной разности между средней температурой помещения и средней температурой наружного воздуха в течение всего отопительного периода соответствующего базового региона.

Gt — градусо-сутки в $K \cdot \text{сут}^1$ в зависимости от базового региона и уровня теплоизоляции здания; x — внутренняя температура; y — предельная температура отопления.

F_{Gt}

Коэффициент для определения теплотерь через ограждающие конструкции (Q_T) и теплотерь за счет вентиляции и инфильтрации (Q_V) из удельных теплотерь H_T и H_V с учетом базового региона.

$$F_{Gt} = Gt \cdot 1 \text{ Вт} \cdot \text{сут} \cdot f_{NA}$$

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{сут} = 24 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 0,024 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

f_{NA} — поправочный коэффициент для ограниченного режима работы отопительной системы в ночные часы.

Чем выше уровень теплоизоляции, тем ниже предельная температура отопления. Предельная температура отопления соответствует температуре наружного воздуха примерно 10°C .

Отопительный период

Отопительным периодом называют то время, в течение которого предельная температура отопления выше, чем средняя температура наружного воздуха.

При НР-методе исходят из отопительного периода в 185 дней, что составляет полгода, при этом для данного полугодия в расчетах используются не различные температуры наружного воздуха, а усредненные значения.

Отопительный период зависит от:

- географического положения здания и, следовательно, средней температуры наружного воздуха,
- сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания,

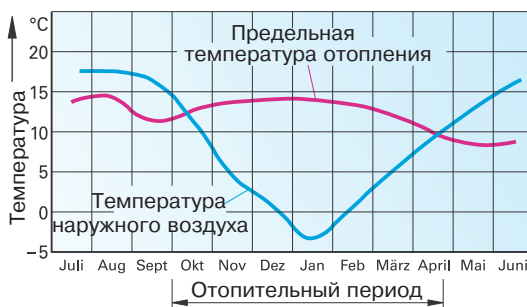


Рис. 1.40. Отопительный период

¹ В российской литературе используется единица измерения $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$. — Прим. пер.

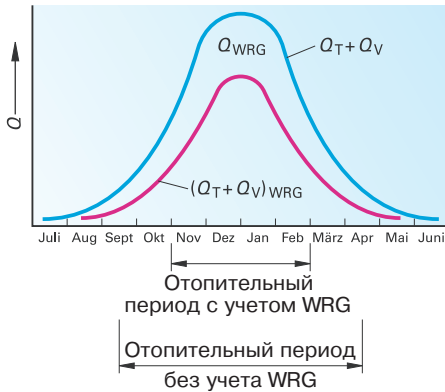


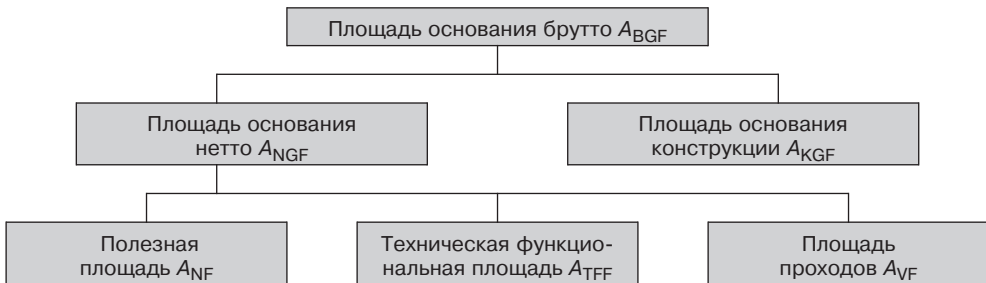
Рис. 1.41. Отопительный период с рекуперацией тепла (WRG) или без рекуперации тепла

$Q_T + Q_V$ — потребность в тепловой энергии на компенсацию теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь за счет вентиляции и инфильтрации без рекуперации тепла.

$(Q_T + Q_V)_{WRG}$ — потребность в тепловой энергии на компенсацию теплопотерь через ограждающие конструкции и теплопотерь за счет вентиляции и инфильтрации с рекуперацией тепла

- теплонакопительной способности здания, в частности внутренних конструкций и частей здания,
- солнечных теплопоступлений через прозрачные и непрозрачные строительные конструкции,
- параметров воздухообмена,
- коэффициентов затенения.

Понятия, касающиеся площади, согласно DIN 277



A_{BGF} — площадь, определяемая по наружным размерам здания, включая штукатурку и облицовочную оболочку.

A_{KGF} — площадь поперечного сечения стен, перемычек, дымоходов, полостей систем инженерного оборудования.

A_{TFF} — площадь центральных систем электроснабжения, подачи газа и воды, отопления, подъемно-транспортного оборудования (лифт).

A_{VF} — площадь лестничных клеток, коридоров, проходов.

Обозначения площадей в ЕпЕВ

1. Жилая площадь A_{WF}

Основой для расчетов является постановление о жилой площади (WF-VO). Оно используется для определения потребности в тепловой энергии на подготовку горячей воды (см. DIN 18599).

$A_{NF} = 1,35 \cdot A_{WF}$ в среднем до 2 жилых этажей;

$A_{NF} = 1,2 \cdot A_{WF}$ для прочих зданий.

2. Площадь основания нетто A_{NGF}

Используется для определения объема воздуха;

$V = A_{NGF} h$, где h — высота помещения в свету.

3. Полезная площадь A_{NF}

Используется в качестве основы для расчета при расширении и отделке зданий, см. DIN 277, EnEV.

4. Полезная площадь здания A_N

Представляет собой величину, рассчитанную на основе объема и высоты этажа, см. EnEV

Высота этажа h_G от ОКР до ОКР (уровень пола без отделки)	Полезная площадь здания
$h_G < 2,50$ м	$A_N = \left(\frac{1}{h_G} - 0,04 \text{ м}^{-1} \right) \cdot V_e$
h_G от 2,50 до 3,0 м	$A_N = 0,32 \cdot V_e$ для $h_G = 2,75$ м
$h_G > 3,0$ м	$A_N = \left(\frac{1}{h_G} - 0,04 \text{ м}^{-1} \right) \cdot V_e$

Конечная потребность в энергии Q_E

Сюда входит не только общая потребность в энергии на отопление, но и количество энергии, затрачиваемой на подготовку горячей воды, включая потери этих инженерных систем.

Конечная потребность в энергии также включает в себя потребность во вспомогательной энергии для систем регулирования и работы насосов. Конечная энергия представляет собой энергию, которую владелец здания должен использовать для поддержания желаемой температуры в помещениях и подготовки горячей воды и которая подлежит оплате в конечном итоге.

Потребность в первичной энергии Q_p

Представляет собой количество энергии, которая используется для покрытия конечной потребности в энергии с учетом дополнительного количества энергии, которая не доходит до конечного потребителя из-за процессов, происходящих на предыдущих этапах, например при добыче, преобразовании и распределении соответствующих энергоносителей типа угля, нефти, газа и прочих видов топлива.

Потребность в первичной энергии может использоваться в качестве величины для оценки экологичности и нагрузки на окружающую среду вследствие выброса CO_2 .

Таблица 1.8. Коэффициенты первичной энергии f_p ; DIN 19599-100

Энергоноситель ¹		Коэффициенты первичной энергии f_p	
		Общий	Невозобновляемая часть
Топливо	Мазут EL	1,1	1,1
	Природный газ Н	1,1	1,1
	Жидкий газ	1,1	1,1
	Каменный уголь	1,1	1,1
	Бурий уголь	1,2	1,2
	Древесина	1,2	0,2

Продолжение табл. 1.8

Энергоноситель ¹		Коэффициенты первичной энергии f_p	
		Общий	Невозобновляемая часть
Тепловая энергия из электростанций ²	Ископаемое топливо	0,7	0,7
	Возобновляемое топливо	0,7	0,0
Тепловая энергия из котельных	Ископаемое топливо	1,3	1,3
	Возобновляемое топливо	1,3	0,1
Электроэнергия	Различные источники	3,0	2,6
Энергия окружающей среды	Солнечная энергия, теплота окружающей среды	1,0	0,0
Биогенная энергия	Биогаз	1,5	0,5
Биологическое топливо	Биомасло		

¹Базовой величиной является конечная энергия H_i .

²Доля из объединенной выработки тепловой и электрической энергий минимум 70 %.

В коэффициенте первичной энергии f_p учитывается только невозобновляемая часть, которая может повлиять на расчет.

1.4.5. Размеры здания и их использование в EnEv

Как отапливаемые и охлаждаемые объемы здания V_e , так и площадь теплопередающей оболочки здания A определяются на основании наружных размеров.

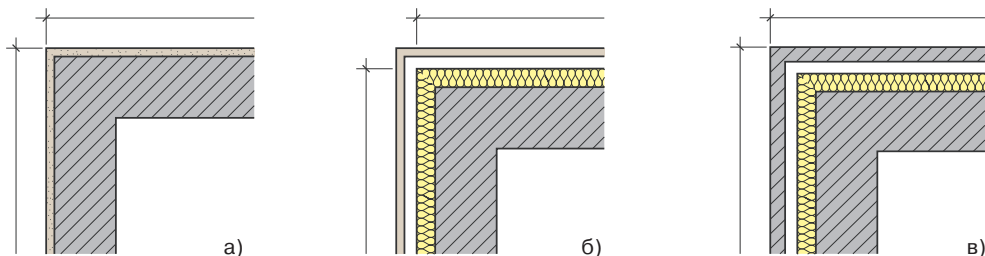


Рис. 1.42. Наружные размеры стены: б — фасадная плита $d < 90$ мм; в — облицовочная оболочка 115 мм, все слои могут учитываться в расчете согласно DIN 6946

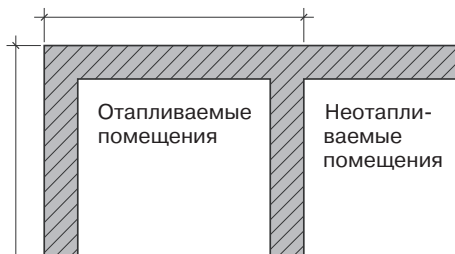


Рис. 1.43. Основные размеры

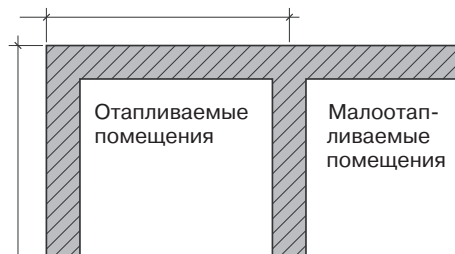


Рис. 1.44. Основные размеры

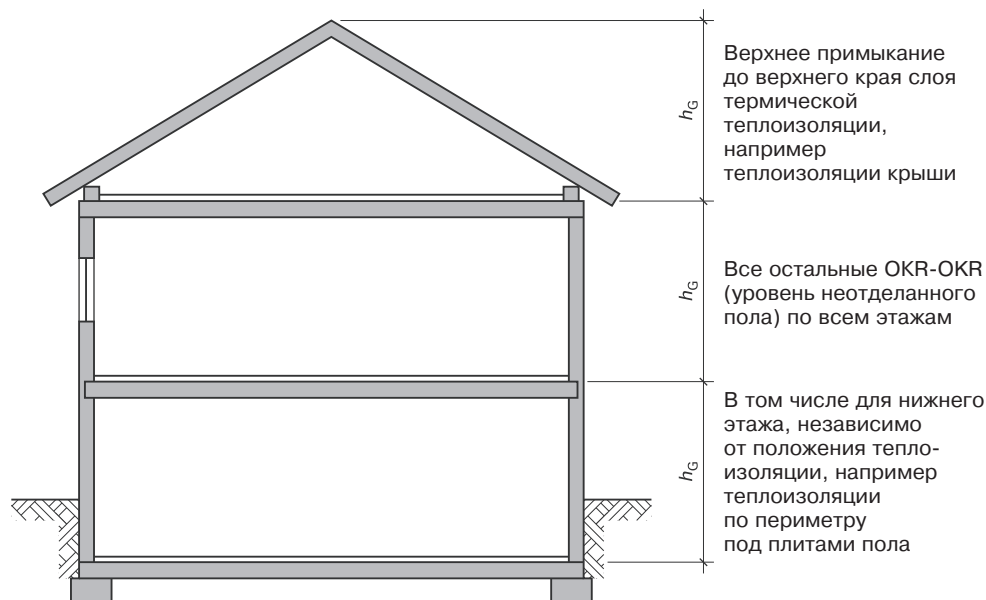


Рис. 1.45. Размеры по высоте

1.4.6. От конечной энергии Q_E к первичной энергии Q_P

$$Q_P = Q_{E,j} \cdot f_{p,j} \cdot f_{u,j},$$

где $f_{p,j}$ — коэффициент первичной энергии энергоносителя; j — соответствующий энергоноситель.

$$f_{u,j} = H_s / H_i$$

H_s — высшая теплота сгорания (ранее H_o) определяет количество полезной энергии топлива и учитывает дополнительно количество энергии в водяных парах, содержащихся в отработанном газе.

⇒ конденсационная техника

⇒ температура отработанных газов лежит ниже температуры конденсации.

H_i — низшая теплота сгорания (ранее H_u) показывает количество полезной энергии топлива без учета количества полезной энергии, содержащейся в водяном паре.

⇒ Температура отработанного газа ниже температуры конденсации

⇒ Неконденсационная техника.

Пример.

1000 л мазута; конденсационная техника.

Решение.

1000 л $\hat{=}$ 10000 кВт·ч.

$$Q_P = Q_{E,j} \cdot f_{p,j} \cdot f_{u,j} = 10000 \cdot 1,1 \cdot 1,06 = 11660 \text{ кВт·ч.}$$

Коэффициенты пересчета в зависимости от энергоносителя

Энергоноситель		Отношение высшей и низшей теп- лоты сгорания, H_s/H_i	Коэффициент пересчета для конечной энергии, f_u
Топливо	Мазут	1,06	0,943
	Природный газ	1,11	0,901
	Жидкий газ	1,09	0,917
	Каменный уголь	1,04	0,962
	Бурый уголь	1,07	0,935
	Древесина	1,08	1,000
Тепловая энергия из электростанций (совмест- ная выработка тепловой и электрической энергий) ¹	Ископаемое топливо	-	1,000
	Возобновляемое топливо	-	1,000
Тепловая энергия из котельных	Ископаемое топливо	-	1,000
	Возобновляемое топливо	-	1,000
Электроэнергия	Различные источники	-	1,000
Энергия окружающей среды	Солнечная энергия		
	Теплота окружающей среды		
Биогенное топливо	Биогаз, биомасло		

¹Величина относится к доле 70%.

1.4.7. Внутренние тепlopоступления

Тепlopоступления уменьшают потребность в тепловой энергии, которая возникает вследствие передачи тепла через ограждающие конструкции и вентиляции помещения.

Часто можно наблюдать такое явление: перед началом заседания температура в помещении воспринимается как недостаточно комфортная, в то время как через несколько часов в заполненном зале при включенных прожекторах и в присутствии людей многие снимают часть одежды и хочется более прохладного воздуха.

Тепlopоступления внутри помещения зависят:

- от здания и его использования (жилое или офисное здание),
- от технического оснащения (машины, приборы),
- от количества присутствующих людей,
- от режима работы имеющихся систем и оборудования,
- от освещения,
- от характеристик и интенсивности производственного процесса.

Внутренние поступления рассчитываются по формуле:

$$Q_i = 22 \cdot A_N \text{ в кВт} \cdot \text{ч/год}$$

$$A_N = 0,32 \cdot V_e,$$

где A_N — полезная площадь здания; V_e — объем здания, определяемый на основании наружных размеров.

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{сут} = 1 \text{ Вт} \cdot 24 \text{ ч} = 24 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 0,024 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$22 = 5 \text{ Вт/м}^2 \cdot 185 \text{ сут} \cdot 0,024 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$0,32 = \left(\frac{1}{2,75} - 0,04 \right)$$

2,75 м — средняя высота этажа (OKR-OKR)

Если высота этажа h (OKR-OKR) менее 2,75 м или более 3,0 м, то A_N определяется по формуле.

Согласно DIN V 18599-10 внутренние тепlopоступления рассчитываются по соответствующей формуле (см. раздел 1.4.4):

$$Q_i = q_i \cdot A_{WF} \cdot t$$

$q_i = 50 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ для многоквартирного дома,

$q_i = 100 \text{ Вт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ для многоквартирного дома,

A_{WF} — жилая площадь согласно постановлению о жилой площади,

d — количество дней (суток).

Таблица 1.9. Ориентировочные значения средней мощности внутренних источников тепла в зданиях

Источник тепла	Средняя тепловая мощность в Вт
Человек	65 Вт/чел.
Теплая вода	25 + 15 Вт/чел.
Кухня	110
Технические приборы:	
Телевизор	35
Холодильник	40
Электрочайник	20
Морозильник/холодильник	90
Стиральная машина	10
Посудомоечная машина	20
Сушка	20
Освещение при площади квартиры:	
от 50 до 100 м ²	30
более 100 м ²	45

Продолжение табл. 1.9

Тип использования здания	Средние ориентировочные значения для удельных внутренних теплопоступлений q_i , Вт/м ²
Жилое здание (24 ч/сут)	5
Административные и офисные здания:	
во время работы	15
в нерабочие часы	2

1.4.8. Солнечные теплопоступления

Расчет солнечных теплопоступлений методом месячного энергетического баланса (МВ)

Для данного метода (МВ-метод) ежемесячные эффективности солнечного излучения разделены по 15 климатическим зонам Германии. Эти данные могут использоваться в качестве индивидуальных краевых условий для определения годовой потребности в тепловой энергии на отопление. Если солнце светит на непрозрачные строительные конструкции, то солнечная энергия способствует уменьшению теплопотерь через ограждающие конструкции, что, например, для южной ориентации может означать экономию до 10 % за 1 месяц отопительного периода.

Солнечные теплопоступления определяются для:

- прозрачных (светопропускающих) частей конструкции, например окон и прочих элементов остекления,
- непрозрачных (не пропускающих свет) частей конструкции, например наружные стены, крыша,
- прозрачной теплоизоляции (TWD),
- неотапливаемых стеклянных пристроек (зимние сады).

Солнечные теплопоступления зависят:

1. От географического положения здания (базовый регион),
2. От интенсивности излучения, попадающего на поверхность строительной конструкции,
3. От ориентации здания относительно сторон света,
4. От угла падения солнечного излучения,
5. От общего энергетического коэффициента пропускания окон и других прозрачных конструкций,
6. От понижающего коэффициента при наличии жалюзи, маркиз для защиты от солнечного излучения,
7. От степени поглощения излучения непрозрачными конструкциями.

Солнечные теплопоступления

Поступление тепловой энергии под действием солнечного излучения происходит снаружи внутрь здания. Данное излучение способствует нагреванию

помещения, в том числе в зимних садах. В зимних садах излучаемое тепло особенно чувствуется около окна, выходящего на юг. Солнечные поступления в значительной мере способствуют уменьшению потребности в тепловой энергии на отопление.

Ежемесячные поступления солнечной радиации рассчитываются по формуле:

$$Q_{S,M} = 0,024 \cdot t_M \cdot I_{S,j} \cdot F_f \cdot F_S \cdot F_C \cdot g_j \cdot A_{W,j}.$$

0,024 кВт·ч = 1 Вт·сут = 24 Вт·ч = 0,024 кВт·ч;

1 ватт-сутки = 24 ватт-час;

t_M — количество дней в месяце;

$I_{S,j}$ — соответствующая интенсивность облучения в зависимости от ориентации относительно сторон света и базового региона;

F_f — понижающий коэффициент, учитывающий долю оконных рам. Для нормального окна (1,26 × 1,45 м) доля рамы составляет 30 % $F_f = 0,7$;

F_S — коэффициент затенения $F_S = 0,9$;

F_C — понижающий коэффициент, учитывающий наличие солнцезащитных приспособлений;

g_j — общий энергетический коэффициент пропускания энергии для остекления;

$A_{W,j}$ — площадь соответствующей прозрачной конструкции по ее размерам без отделки;

j — соответствующая конструкции.

Таблица 1.10. Ориентировочные значения для степени поглощения излучения различных поверхностей

Поверхность	Коэффициент поглощения излучения α
Поверхность стены:	
светлое покрытие	0,4
кроющее покрытие	0,6
темное покрытие	0,8
Каменная кладка:	
клинкерная каменная кладка	0,8
светлая видимая каменная кладка	0,6
Покрытие крыши:	
поверхность кирпичного цвета	0,6
темная поверхность	0,8
металл (блестящий)	0,2
битумный рулонный материал (посыпанный песком)	0,6