

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»

Д. Д. Жуков

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальности «Дизайн предметно-пространственной среды»*

В двух частях

Часть 2

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой
2024

УДК 72.012(075.8)
ББК 85.1я73
Ж86

Одобрено и рекомендовано к изданию
научно-методическим советом университета (протокол № 4 от 26.03.2024)

Кафедра архитектуры и дизайна

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

кафедра промышленного дизайна и интерьера Белорусской государственной академии искусств,
канд. искусствоведения, доц., зав. кафедрой Т. П. СЫЧЕВА;
канд. искусствоведения, доц., зав. кафедрой дизайна
Института современных знаний имени А. М. Широкова И. М. КОНОВАЛОВ

Жуков, Д. Д.

Ж86 Основы конструирования : учеб. пособие : в 2 ч. / Д. Д. Жуков. – Новополоцк : Полоц.
гос. ун-т имени Евфросинии Полоцкой, 2024. – Ч. 2. – 88 с.
ISBN 978-985-531-898-0.

Учебная дисциплина «Основы конструирования» включает в себя десять тем. Цель их изучения – приобрести начальные профессиональные компетенции в области физических условий существования и функционирования предметно-пространственной среды жизнедеятельности человека, в первую очередь интерьерной среды. В части 2 одноименного учебного пособия рассматриваются последние четыре темы. Они в большей степени, чем первые шесть, связаны со строительством. Первая тема из четырех посвящена главным образом оболочкам зданий и сооружений как вместилищам интерьерной среды, вторая – строительной теплотехнике, а также теплозащите зданий и сооружений, третья – строительной акустике и акустике помещений, четвертая – естественному, искусственному и смешанному освещению.

Пособие содержит примеры решения задач и необходимые тематические наборы иллюстраций.

Адресуется студентам, обучающимся по специальностям «Дизайн предметно-пространственной среды» и «Архитектурный дизайн».

УДК 72.012(075.8)
ББК 85.1я73

ISBN 978-985-531-898-0

© Жуков Д. Д., 2024

© Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой, 2024

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие является продолжением учебного пособия «Основы конструирования. Часть 1». Обе части формируют практически самостоятельный печатный источник информации по теоретическому курсу учебной дисциплины «Основы конструирования».

Данная дисциплина с 2023/2024 учебного года входит в модуль «Инженерные дисциплины» компонента учреждения высшего образования специальности «Дизайн предметно-пространственной среды», профилизация «Дизайн интерьера». Она предшествует таким инженерно-техническим дисциплинам, как «Конструирование», «Материаловедение и технологии» и «Конструкции зданий и сооружений».

Дизайн как бифункциональное искусство архитектурного типа характеризуется двумя основными сторонами – утилитарной и эстетической. Идеальный случай – когда обе они пребывают в целостном единстве. Дизайнерам же надлежит это не только осознавать, но и стремиться к достижению идеала в своей работе – когда утилитарное (функциональное, техническое и т. д.) и эстетическое (художественное, стилистическое и т. д.) ощущаются ими как утилитарно-эстетическое или эстетически-утилитарное, т. е. в неразрывной связи. Поэтому важнейшая задача настоящего пособия – предоставить будущим дизайнерам предметно-пространственной среды именно тот необходимый им инженерный инструментарий, который позволяет формировать ценную как в художественном, так и в функциональном отношении предметно-пространственную среду.

В части 1 учебного пособия были рассмотрены следующие разделы дисциплины «Основы конструирования»:

1. Естественно-научные основы.
2. Физико-механические основы.
3. Климатологические основы.
4. Санитарно-гигиенические основы.
5. Проектно-конструкторские и нормативные основы.
6. Интерьерно-конструктивные основы.

Эти разделы в меньшей мере относятся к архитектуре и строительству, нежели представленные в части 2 учебного пособия:

7. Архитектурно-конструктивные основы (рассматриваются вопросы создания главным образом оболочки зданий и сооружений как вместителища интерьерной среды).

8. Теплотехнические основы (рассматриваются вопросы строительной теплотехники, а также теплозащиты зданий и сооружений).

9. Акустические основы (рассматриваются вопросы строительной акустики и акустики помещений).

10. Светотехнические основы (рассматриваются вопросы естественного, искусственного и смешанного освещения помещений, а также вопросы светозащиты).

При этом связующим звеном между обеими частями служит раздел 6, который объясняет, как и чем заполняется архитектурное пространство, формируемое в значительной степени строительными конструкциями.

В настоящее пособие, как и в любую другую книгу учебной направленности, невозможно вместить даже малую долю информации о том, чему оно посвящено. Поэтому оно представляет собой своеобразный свод принципиальных положений конструирования предметно-пространственной среды в целом и ее компонентов в частности и должно, помимо прочего, помочь будущим дизайнерам освоить общий с архитекторами и инженерами профессиональный язык. Тексты и рисунки пособия содержат тот минимум релевантной информации, который позволяет достичь цели преподавания учебной дисциплины. Цель же такова – заложить основы профессиональных компетенций студентов в области физических условий существования и функционирования предметно-пространственной среды жизнедеятельности человека, главным образом интерьерной среды.

Что касается подробностей, их можно, поначалу с помощью преподавателя, находить в сети Интернет, в т. ч. по таким популярным у архитекторов и дизайнеров всего мира адресам, как <https://www.archdaily.com/> и www.pinterest.com.

В пособии использованы преимущественно авторские рисунки и фотографии. В случае заимствования иллюстрации дается ссылка на соответствующий источник.

1. АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСНОВЫ

Дизайнер предметно-пространственной среды, наделяя помещения зданий и сооружений художественно-функциональным смыслом, должен понимать их архитектурно-конструктивную сущность. Это необходимо для учета интерьерных возможностей строительных конструкций, с одной стороны, и ограничений, накладываемых этими конструкциями на облик интерьеров, с другой стороны. В данном разделе наряду с базовой информацией рассматриваются простые архитектурно-конструктивные решения, имеющие отношение к трем основным видам внутреннего пространства. Освоение всего этого предоставляет студентам возможность разрабатывать архитектурно-конструктивную подоснову для практических работ по дисциплине «Конструирование» и дизайн-проектов.

1.1. Основные сведения о современных зданиях

В целом современные здания (речь идет преимущественно об их жилых и подобных им по архитектурным решениям общественных типах; те и другие нередко называют *гражданскими*) являются **рационально запроектированными и построенными, энергоэффективными, ресурсосберегающими и экологически чистыми** – одним словом, **устойчивыми**. Устойчивыми – значит отвечающими принципам устойчивого развития цивилизации. Для таких зданий характерны *сбалансированные архитектурные, дизайнерские и технические решения*.

С точки зрения обеспечения себя теплом такие объекты являются одновременно *тепловыми ловушками, солнечными коллекторами и аккумуляторами теплоты*; летом же они функционируют как своеобразные холодильники, не допуская перегрева своего внутреннего пространства. Подобные постройки показаны на рисунке 1.1.



а – экстерьер здания; *б* – внутри атриума; *в* – экстерьер здания; *г* – в главном помещении

**Рисунок 1.1. – Два энергоэффективных объекта в г. Райне (Германия):
двух-трехэтажное здание гостиничного типа с атриумом (*а, б*)
и одноэтажное здание проектного бюро с остекленной верандой (*в, г*)**

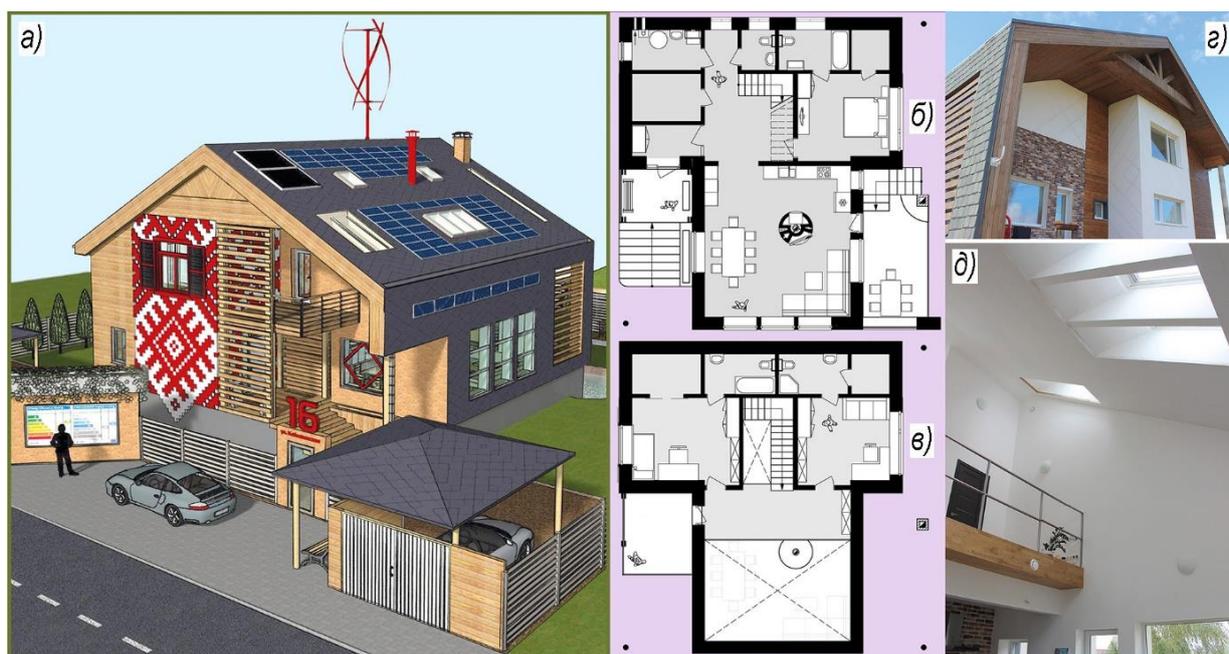
Оба здания (см. рисунок 1.1) включают в свой состав накапливающие тепло от солнечной радиации остекленные помещения – атриум и веранду. Причем в атриуме первого, большего, есть вертикально расположенная труба (она красного цвета), в которую с отопительной целью закачивается теплый воздух из-под стеклянной крыши.

Современные здания создаются устойчивыми за счет в первую очередь архитектурных приемов, во вторую – конструктивных приемов и в третью – правильно подобранного инженерного оборудования, которое использует в основном возобновляемую энергию: энергию солнца и ветра, низкопотенциальную тепловую энергию окружающей среды и др. Для обеспечения

оптимальной работы указанного оборудования современные здания частично или полностью автоматизируют.

Современные энергоэффективные здания часто оснащают системой механической приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты вытяжного воздуха (последний существенно нагревает приточный воздух).

Примерами современных жилых и общественных зданий служат возводимые в странах Евросоюза здания с близким к нулевому энергобалансом (англ. *nearly zero-energy building – nZEB*). Самым продвинутым типом таких объектов можно назвать *пассивный дом* (англ. *passive house*), о котором рассказывается в разделе 2. А на рисунке 1.2 – построенный недалеко от г. Минска согласно концепции концерна «Сен-Гобен» (фр. *Saint-Gobain*) *мультикомфортный дом* (это фирменный термин) на одну семью. Это то же, что и пассивный дом, но с несколько большим расходом энергии, объект с близким к нулевому энергобалансом.



а – экстерьер дома (проект); б – план 1-го этажа (проект); в – план мансардного этажа (проект); г – фрагмент экстерьера дома (факт); д – двухсветное интерьерное пространство дома (факт)

Рисунок 1.2. – Мультикомфортный дом в г. Дзержинске Минской области

Здания с близким к нулевому энергобалансом, мультикомфортные дома и другие объекты с повышенной и рекордной энергоэффективностью именуются, когда есть резон это обстоятельство подчеркнуть, еще и *высокоэнергоэффективными*.

Что касается специфической рациональности, например, интерьеров современных жилых зданий, она проявляется, помимо прочего, в предельно логичном *зонировании, объединении строительных и мебельных форм*, разумном использовании *трансформируемой, в т. ч. исчезающей, мебели*.

1.2. Конструктивные элементы и конструкции. Требования к строительным конструкциям

Определяющей частью здания в целом и его помещений в частности является его конструктивная матрица. Она состоит из *конструктивных элементов*. Их называют также *конструкциями* или, точнее, *строительными конструкциями*. Будучи логичным образом, в первую очередь с архитектурной точки зрения, объединенными между собой, отдельные конструктивные элементы могут образовывать более крупные конструктивные элементы, или конструкции: наружные стены и междуэтажные перекрытия, например (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3. – Этапы реконструкции универсама «Первомайский» в г. Минске; на последних двух снимках (справа внизу) показано устранение негативного влияния на световой климат части торгового зала излишнего остекления на крыше

К строительным конструкциям предъявляются разнообразные **требования**. Их можно свести к *технологическим, техническим, эксплуатационным, экономическим, эстетическим и экологическим*.

Технологические требования предписывают достигать оптимальных показателей по расходу всех видов ресурсов при изготовлении (возведении, монтаже), ремонте и утилизации строительных конструкций. Например, технологичными считаются монолитные железобетонные конструкции, производимые в многократно используемой системной опалубке.

Одно из важнейших **технических требований** к строительным конструкциям – надежность. Например, надежный несущий остов здания обладает достаточной прочностью, жесткостью и устойчивостью.

Эксплуатационные требования к строительным конструкциям включают, помимо прочего, меры по минимизации факторов, способствующих их износу и старению.

Экономические требования выражают стремление, во-первых, к созданию эффективной строительной конструкции при минимально возможных затратах и, во-вторых, к максимально возможному уменьшению эксплуатационных затрат. Так, улучшение теплозащиты здания снижает затраты на его отопление, а повышение надежности и степени ремонтпригодности конструкций – на поддержание их в надлежащем состоянии в течение всего срока службы.

Эстетические требования к строительным конструкциям отражают желание людей видеть красоту в архитектуре, рождающей у них художественные образы. Важно также, чтобы архитектурные решения, воплощенные в конструкциях, являлись органичными компонентами предметно-пространственной среды.

Экологические требования к строительным конструкциям призваны ставить заслон загрязнению окружающей среды и нанесению вреда здоровью людей. В частности, конструкции после исчерпания своего ресурса должны эффективно утилизироваться, например перерабатываться для получения новых строительных материалов.

Отвечать всем многочисленным требованиям может лишь идеальная строительная конструкция. Поэтому при проектировании реальной конструкции следует в первую очередь стремиться к решению основных задач, которые в зависимости от вида конструкции различаются как в количественном отношении, так и по степени важности. Например, к приоритетным относят требования по эффективному расходу материальных ресурсов и энергии при изготовлении конструкции.

Все частные требования приводят к единому знаменателю требования по безопасности. **Безопасность строительных конструкций** распространяется на весь срок их службы, применительно как к нормальной эксплуатации, так и к чрезвычайным ситуациям. Конструкциям надо быть в требуемой мере прочными, жесткими и устойчивыми, пожаробезопасными, гигиеничными, безвредными для здоровья и наследственности человека, экологичными, защищающими от шума и вибрации, безопасными при эксплуатации, энергоэкономичными и т. д.

Например, безопасность дверей повышается при оснащении их специальными доводчиками для автоматического закрывания.

1.3. Проектная документация в строительстве

Состав и содержание проектной документации на возведение, реконструкцию, модернизацию, техническую модернизацию, капитальный ремонт, снос, благоустройство территорий объектов строительства различного назначения, а также ремонтно-реставрационные работы, выполняемые на материальных историко-культурных ценностях на территории Республики Беларусь, устанавливает СН 1-02-02-2023 (02250) «Состав и содержание проектной документации».

Проектная документация включает в свой состав текстовые, графические документы и сметы.

Проектные работы могут выполняться с использованием **ВІМ-технологии** (англ. BIM – Building Information Modeling либо Building Information Model означает информационное моделирование здания либо информационная модель здания). Как отметила в свое время лауреат Притцкеровской премии Заха Хадид (Zaha Hadid): «ВІМ– это не только Autodesk Revit. ВІМ – это люди, процессы и инструменты». ВІМ-технология, включающая в себя 3D-моделирование всех конструкций и инженерного оборудования здания, охватывает все этапы жизненного цикла строительного объекта – от первичной концепции до сноса (демонтажа).

Информационная модель имитирует реальный объект, являясь его цифровым двойником. Изменение одного параметра модели ведет к автоматическому изменению всех остальных, это относится и к ее графической части. ВІМ предоставляет возможность всем участникам проекта с самого начала хорошо его понимать и эффективно взаимодействовать друг с другом. В случае же традиционного подхода все разделы проекта существуют в некотором смысле обособленно и разрабатываются в основном последовательно. Это, помимо прочего, негативным образом сказывается на качестве и продолжительности внесения изменений в проект.

На рисунке 1.4 показаны примеры проектных решений зданий, разработанных в ОАО «Институт Белгоспроект» (г. Минск) с использованием ВІМ-технологии.



Рисунок 1.4. – Проектные решения, разработанные с использованием ВІМ-технологии в г. Минске

Проектирование строительных объектов осуществляется в одну или две стадии. При *одностадийном* проектировании разрабатывается строительный проект, при *двухстадийном* – архитектурный проект и строительный проект.

В случае объектов жилищного и гражданского назначения выделяют четыре категории сложности разработки интерьеров в зависимости от степени их проработки и объема выполняемых работ:

– IV категория – разработка интерьеров в составе раздела «Архитектурно-строительные решения» в минимальном объеме, включаемом в состав проектной документации в обязательном порядке (ведомость отделки, экспликация полов);

– III категория – разработка в составе подраздела «Интерьеры», включающего создание интерьера в рамках функциональной организации пространства со схематичным размещением мебели, оборудования, осветительных приборов, элементов декора (без их подбора);

– II категория – разработка в составе подраздела «Интерьеры», включающего создание общей стилистической концепции интерьера, индивидуальной пространственной организации с подбором и размещением мебели, оборудования, осветительных приборов, элементов декора и других элементов массового изготовления;

– I категория – разработка в составе подраздела «Интерьеры», включающего создание интерьера, имеющего сложную, эксклюзивную стилевую организацию, пространственную организацию, обладающую оригинальными декоративными и архитектурными элементами, с разработкой (за исключением конструкторской документации) и размещением мебели, оборудования, осветительных приборов, декоративных и других элементов и деталей интерьера индивидуального изготовления.

Документация по интерьерам в составе строительного проекта включает в свой состав:

- а) общие данные по рабочим чертежам;
- б) планы этажей здания;
- в) виды и развертки внутренних поверхностей стен;
- г) планы полов и потолков;
- д) фрагменты планов, видов и разверток;
- е) шаблоны;
- ж) схемы технологических и санитарно-технических коммуникаций с опознавательной и сигнально-предупреждающей окраской;
- з) ведомость отделки помещений;
- и) спецификации.

Основные требования к документации строительного проекта устанавливает СТБ 2255-2012 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к документации строительного проекта». В этом стандарте, помимо прочего, изложены общие требования к составу документации строительного проекта, а также основные требования к чертежам строительного проекта.

1.4. Модульная координация размеров в строительстве

☞ *Модульная координация размеров в строительстве (МКРС)* предназначена для взаимного согласования размеров зданий, а также размеров и расположения их объемно-планировочных и конструктивных элементов (конструкций), строительных изделий и встроенного оборудования.

Основные положения МКРС устанавливает СТБ 1922-2008 «Модульная координация размеров в строительстве. Основные положения».

МКРС осуществляют на базе модульной пространственной координационной системы и предусматривают предпочтительное применение *прямоугольной модульной пространственной координационной системы* (рисунок 1.5).

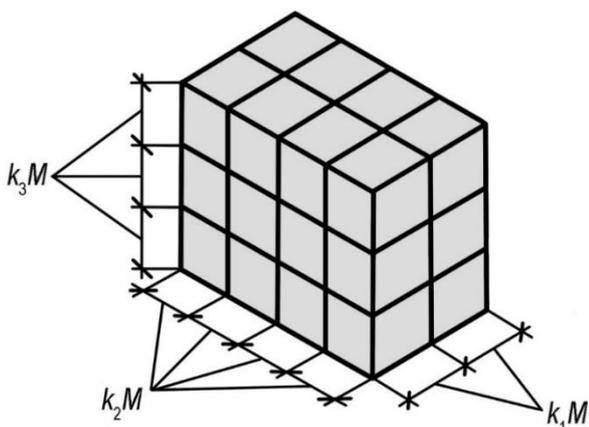


Рисунок 1.5. – Прямоугольная модульная пространственная координационная система; k_1, k_2, k_3 – коэффициенты кратности модулей в плане и по высоте здания (сооружения)

При проектировании зданий, их объемно-планировочных и конструктивных элементов, строительных изделий и встроенного оборудования на основе модульной пространственной координационной системы применяют *горизонтальные* и *вертикальные модульные сетки* на соответствующих плоскостях этой системы.

⚡ Некоторые важные **термины и определения**:

- *модульный размер* – размер, равный или кратный основному или производному модулю;
- *модульный шаг* – расстояние между двумя координационными осями в плане;
- *модульная (координационная) высота этажа* – расстояние между горизонтальными координационными плоскостями, ограничивающими этаж здания;
- *высота помещения* – проектное расстояние от пола до потолка или, точнее, от уровня чистого пола до низа потолка, в т. ч. подвесного или натяжного;
- *высота чистого пола* – проектный размер от уровня верха несущей конструкции перекрытия до отметки уровня чистого пола;
- *конструктивный размер* – проектный размер конструктивного элемента, строительного изделия или встроенного оборудования, определенный в соответствии с правилами МКРС.

⚡ МКРС устанавливает **правила назначения**:

- *основных координационных размеров*: шагов (L_0, B_0) и высот этажей (H_0) зданий и сооружений;
- *координационных размеров элементов*: длины (l_0), ширины (b_0), высоты (h_0), толщины, диаметра (d_0);
- *конструктивных размеров элементов*: длины (l), ширины (b), высоты (h), толщины, диаметра (d).

Эти три вида размеров относятся к *проектным* размерам. Разница между *натурным (фактическим)* размером и проектным размером не должна превышать по абсолютной величине нормируемый *допуск*.

Для назначения *координационных размеров объемно-планировочных и конструктивных элементов, строительных изделий и встроенного оборудования* применяют, наряду с *основным модулем* $M = 100$ мм, *укрупненные модули* 60M; 30M; 15M; 12M; 6M; 3M и *дробные модули* 1/2M; 1/5M; 1/10M; 1/20M; 1/50M; 1/100M.

Укрупненные модули используют для сокращения количества горизонтальных и вертикальных модульных размеров.

Координационные размеры, не зависящие от основных координационных размеров (например, сечения колонн, балок, толщины стен и плит перекрытий), назначают по возможности кратными M, 1/2M или 1/5M.

Координационные толщины плитных изделий и тонкостенных элементов назначают кратными 1/10M и 1/20M, а ширину швов и зазоров между элементами – кратной также 1/50M и 1/100M.

Конструктивные размеры строительных элементов определяют исходя из их координационных размеров за вычетом соответствующих частей ширины зазоров (рисунок 1.6):
 $l = l_0 - q_1 - q_2$.

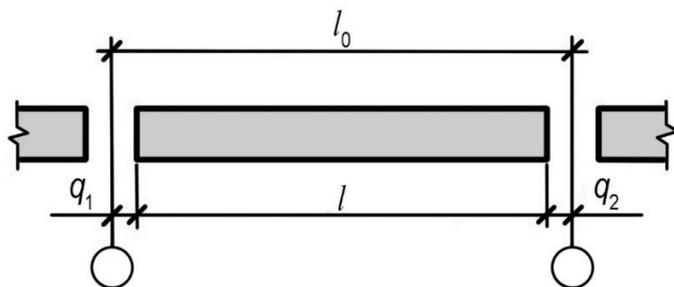


Рисунок 1.6. – Определение конструктивных размеров строительных элементов

Членение здания на модульные шаги и высоты этажей определяют **координационные оси**.

Расположение и взаимосвязь конструктивных элементов координируют путем их привязки к координационным осям.

Привязка к координационной оси – это расположение конструктивных элементов, а также встроенного оборудования по отношению к координационной оси.

Привязку *несущих стен* и *колонн* к координационным осям осуществляют по сечениям, расположенным в уровне опирания на них верхнего перекрытия или покрытия.

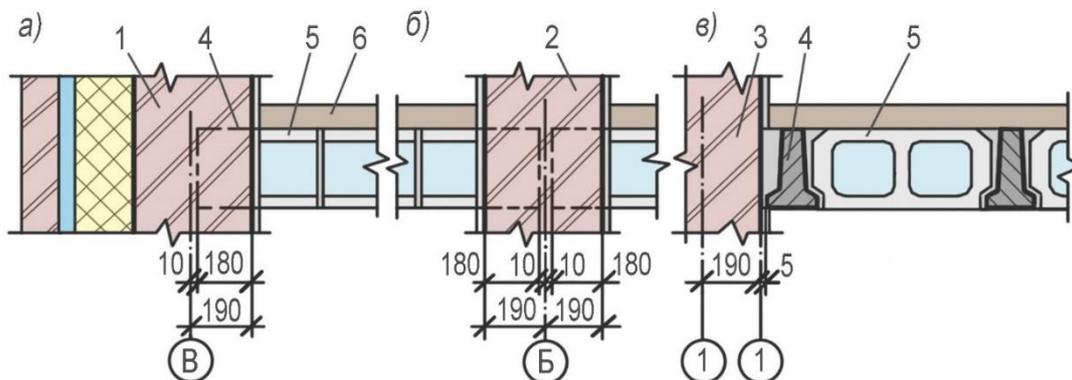
Грань (конструктивная плоскость) элемента, например стены, в зависимости от особенностей примыкания его к другим элементам, например плитам перекрытия, может отстоять от координационной оси на установленный размер или совпадать с ней.

Геометрическую ось *внутренних несущих стен* по возможности совмещают с координационной осью (рисунок 1.7). Такую привязку можно называть *центральной*.

Внутреннюю грань *наружных несущих стен* по возможности смещают внутрь здания относительно координационной оси на расстояние, которое равно половине координационной толщины параллельной внутренней несущей стены (см. рисунок 1.7). Такую привязку можно называть *смещенной*.

Следует по возможности соблюдать единообразие длины опирания несущей конструкции перекрытия или покрытия. То есть, например, длина опирания железобетонной плиты перекрытия на наружную и внутреннюю стену должна быть одинаковой или почти одинаковой (см. рисунок 1.7).

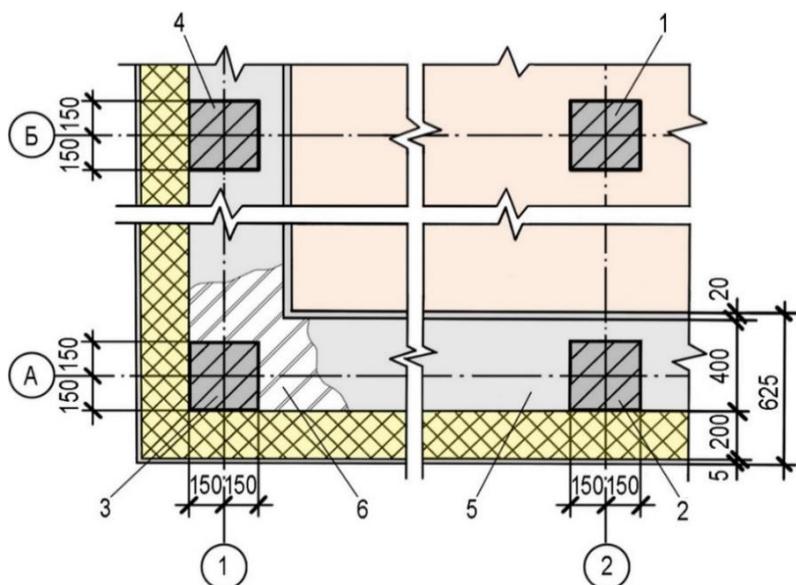
Внутреннюю грань *наружных самонесущих стен* по возможности совмещают с координационной осью (см. рисунок 1.7). Такую привязку можно называть *нулевой*.



а, б – фрагменты поперечного разреза здания по наружной и внутренней стене соответственно; *в* – фрагмент продольного разреза того же здания; *а* – привязка стены смещенная; *б* – привязка стены центральная; *в* – привязка стены нулевая или смещенная; 1 – наружная продольная несущая 3-слойная кирпичная стена с вентилируемым воздушным зазором, эффективной теплоизоляцией и облицовочной кладкой; 2 – внутренняя продольная несущая стена; 3 – наружная поперечная самонесущая 3-слойная кирпичная стена с вентилируемым воздушным зазором; 4 – сборная железобетонная балка; 5 – сборный легкобетонный двухпустотный вкладыш; 6 – пол

Рисунок 1.7. – Примеры привязок кирпичных стен к координационным осям

Привязку колонн к координационным осям в каркасных зданиях осуществляют, помимо прочего, совмещая их геометрические оси с координационными осями (рисунок 1.8). Такая привязка характерна, например, для всех колонн небольших гражданских зданий со сравнительно малой нагрузкой на перекрытия.



1 – рядовая колонна среднего ряда;
 2 – рядовая колонна крайнего ряда;
 3 – торцевая колонна крайнего ряда;
 4 – торцевая колонна среднего ряда;
 5 и 6 – кладка из ячеистобетонных блоков, показанная для сравнения по-дизайнерски и по правилам строительного черчения

Рисунок 1.8. – Фрагмент плана этажа малоэтажного гражданского здания с монолитным железобетонным каркасом и 2-слойными наружными стенами с эффективной теплоизоляцией

Такие *несущие конструкции*, как, например, перегородки, удобно привязывать к граням несущих конструкций – стен или колонн, а такое *встроенное оборудование*, как, например, антресольные шкафы, – к граням несущих и несущих конструкций.

📐 Примеры использования МКРС приведены на рисунках 1.9 и 1.10.

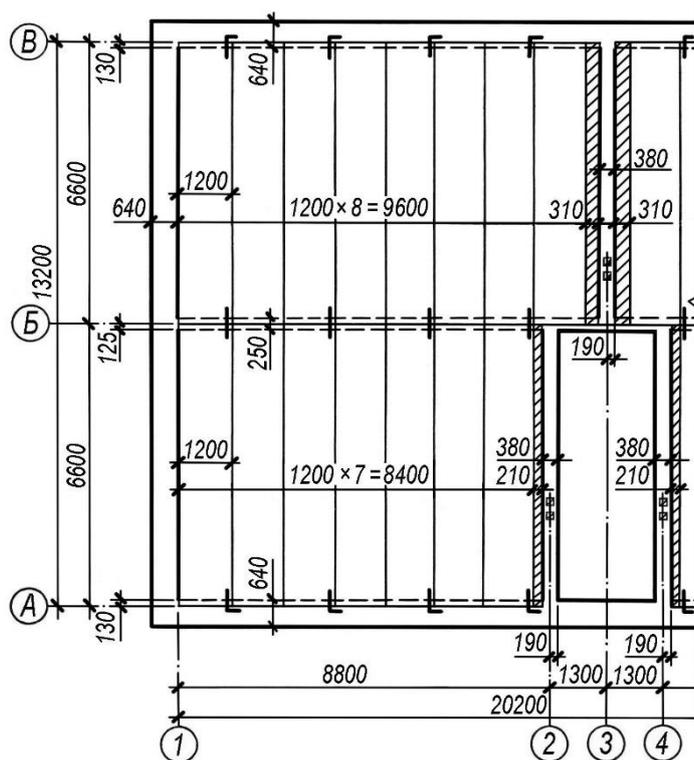
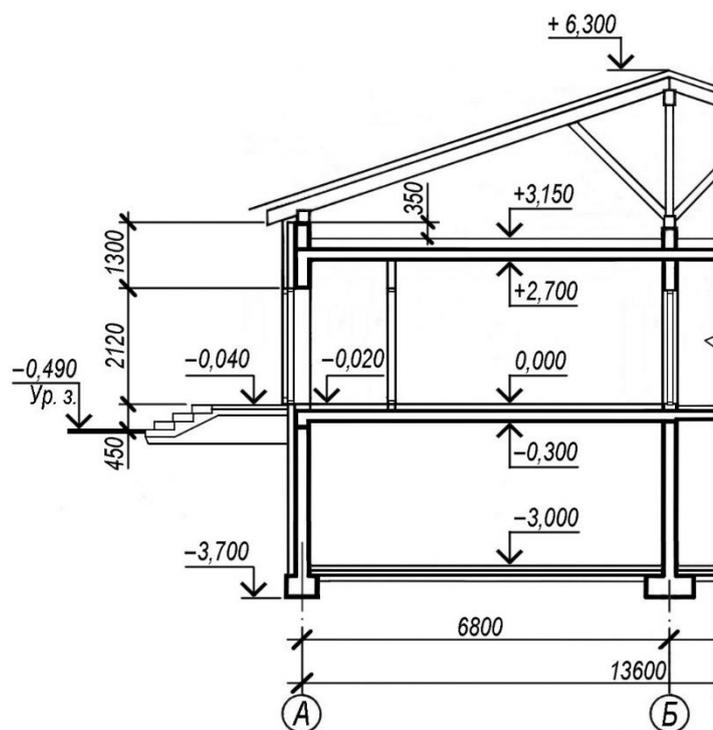


Рисунок 1.9. – Пример использования МКРС в случае малоэтажного гражданского здания с кирпичными стенами: план несущих конструкций перекрытия из сборных железобетонных многопустотных плит толщиной 220 мм

Рисунок 1.10. – Пример использования МКРС в случае одноэтажного гражданского здания с кирпичными стенами, монолитными железобетонными перекрытиями толщиной 200 мм и подвалом: поперечный разрез



1.5. Виды строительных конструкций. Основные принципы их формообразования

☞ По расположению в здании различают *наружные* и *внутренние* строительные конструкции. Пример первой – наружная стена, пример второй – колонна, находящаяся в пределах внутреннего пространства здания.

В зависимости от формы бывают конструкции *линейные*, *криволинейные*, *плоские*, *пространственные* и *объемные*. Пример линейной конструкции – балка перекрытия, криволинейной – арка, плоской – плита перекрытия, пространственной – купол, объемной – объемно-пространственный блок размером на комнату.

Линейные и плоские конструкции подразделяют на *вертикальные*, *горизонтальные* и *наклонные*. Пример вертикальной конструкции – перегородка, горизонтальной – перемычка, наклонной – мансардное окно.

По основной функции конструкции делят на *несущие*, *ограждающие* и *несуще-ограждающие*. Пример несущей конструкции – фундамент, ограждающей – навесная наружная стена, несуще-ограждающей – внутренняя несущая стена.

В зависимости от характера восприятия вертикальных нагрузок конструкции разделяют на *несущие*, *ненесущие* и *самонесущие*, имея в виду чаще всего стены.

Несущие стены воспринимают нагрузки от собственного веса, а также от опирающихся на них горизонтальных (плит перекрытия, например) и (или) наклонных конструктивных элементов (стропильных ног, например) и передают эти нагрузки на фундамент.

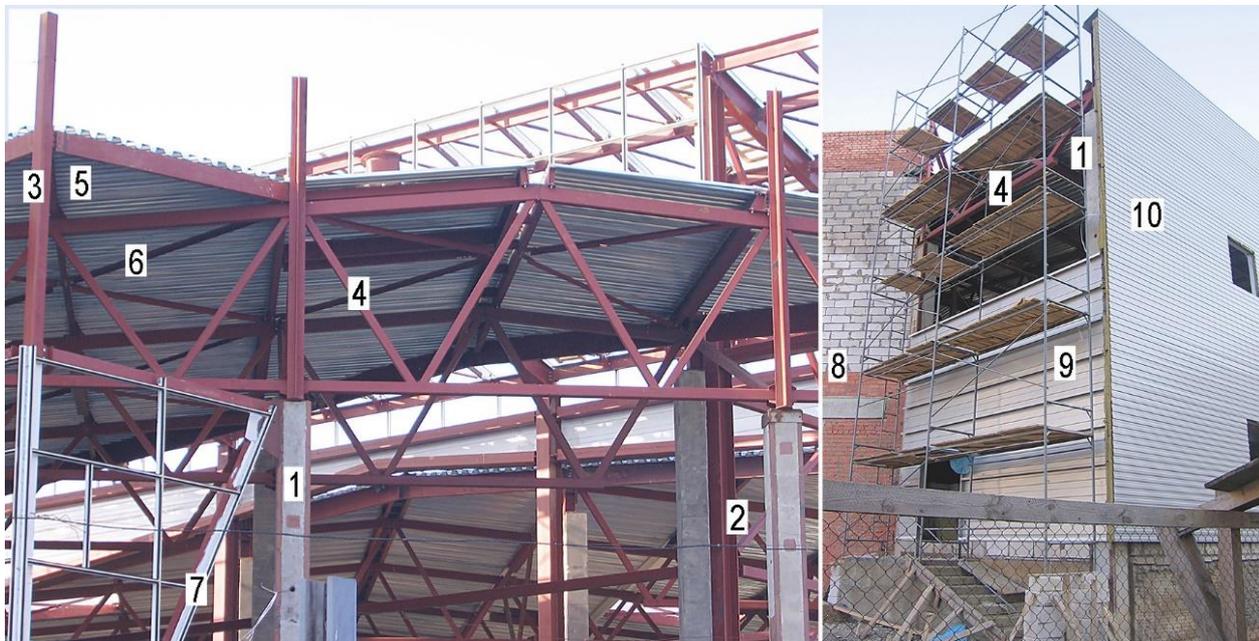
Ненесущие стены не имеют своего фундамента, они воспринимают нагрузку только от собственного веса и опираются или навешиваются (*навесные стены*) на горизонтальные (несущие конструкции перекрытия, например) либо вертикальные (колонны, например) конструкции. Ненесущая внутренняя стена называется *перегородкой*.

Самонесущие стены высотой в один или несколько этажей воспринимают нагрузку только от собственного веса и передают ее на свой фундамент.

Если конструкция обеспечивает жесткость здания, воспринимая главным образом горизонтальные нагрузки, она является *связевой*. Бывают вертикальные, горизонтальные и наклонные *связевые конструкции*, называемые также *связями*.

В зависимости от материала строительные конструкции делят главным образом на *металлические* (чаще всего применяют *стальные* и *алюминиевые*), *бетонные* (в их составе нет рабочей арматуры), *железобетонные*, *армоцементные*, *фибробетонные*, *каменные*, *армокаменные*, *деревянные*, *пластмассовые*, *стеклянные*, *из композитных материалов*, *комбинированные* (например, *сталебетонные*).

На рисунке 1.11 можно увидеть некоторые виды конструкций.



1 – железобетонная колонна; 2 – стальная колонна; 3 – стальная стойка; 4 – ферма покрытия из стальных коробчатых профилей; 5 – стальной профилированный настил как часть кровли; 6 – связевой элемент покрытия из стального коробчатого профиля; 7 – витражная рама из алюминиевых профилей; 8 – каменная кладка стены; 9 – сэндвич-профили легкой несущей (навесной) стены поэлементной сборки; 10 – легкая навесная стена поэлементной сборки с эффективной теплоизоляцией из каменной ваты

Рисунок 1.11. – Два фрагмента здания торгового предприятия в процессе строительства, г. Минск

☞ Оптимальная форма практически любой строительной конструкции выбирается путем *сравнения вариантов*. При этом желательно рассматривать *разные материалы* и их *комбинации*. Например, односемейный двухэтажный жилой дом при самых разных объемно-пространственных решениях может, помимо прочего, иметь: а) монолитный несущий остов и легкие ограждающие конструкции; б) кирпичные наружные и внутренние стены; в) легкий каркас из древесины или стали с соответствующими легкими ограждающими конструкциями.

Инженер, сопоставляя конструктивные варианты, непременно оценивает их по *приведенной стоимости*. Она учитывает и себестоимость конструкций, и эксплуатационные расходы. Например, себестоимость окон с повышенным сопротивлением теплопередаче выше, чем у обычных, но в общем итоге, если учесть соответствующие теплотери, приведенная стоимость первых оказывается ниже.

Архитекторам и дизайнерам предметно-пространственной среды нет нужды заниматься детальным конструированием строительных конструкций, выполняя несвойственные им профессиональные функции. Они должны понимать рабочую проектную документацию, разрабатываемую инженерами-проектировщиками, и готовить в случае необходимости для них и для себя архитектурные и дизайнерские чертежи, а также другие изображения, объясняющие формы конструкций. А инженеры-проектировщики, используя основополагающую информацию от архитекторов и дизайнеров и взаимодействуя с ними, разрабатывают детальные чертежи для воплощения задуманного в натуре (рисунок 1.12).

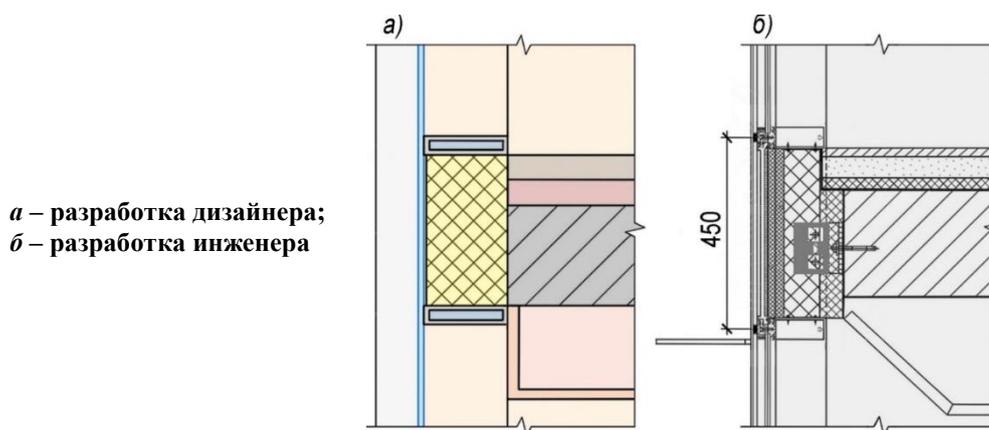


Рисунок 1.12. – Узел примыкания витражного остекления к междуэтажному перекрытию общественного здания

Подчеркнем, что форма строительной конструкции должна быть, как правило, *рациональной*. Следует обращать внимание и на *хорошо зарекомендовавшие себя на практике*, и на *новые перспективные решения*.

Многие конструктивные формы подсказывает природа. Примеры этого можно найти в Городе искусств и наук (г. Валенсия, Испания, архитектор Сантьяго Калатрава), многие конструкции которого возведены из всегда перспективного монолитного железобетона (рисунки 1.13 и 1.14).



Рисунок 1.13. – Город искусств и наук в г. Валенсии, второй объект слева – музей наук принца Фелипе

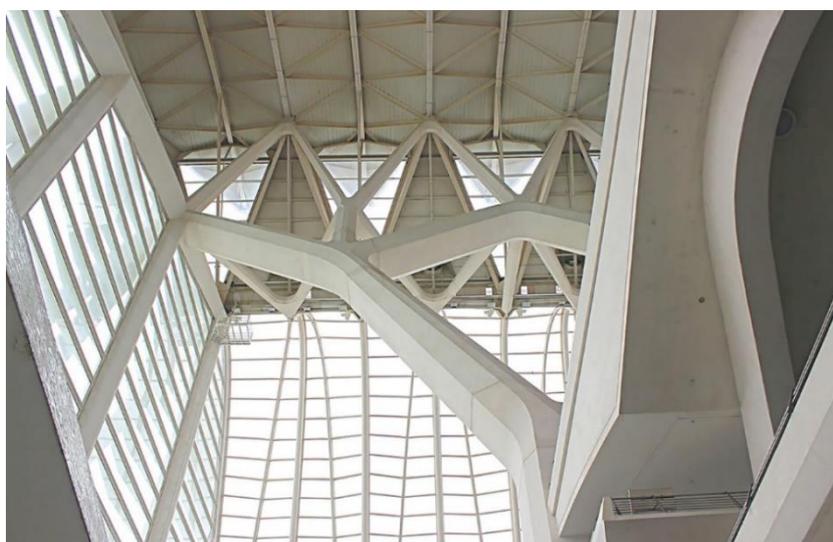


Рисунок 1.14 – Внутреннее пространство музея наук принца Фелипе в Городе искусств и наук, г. Валенсия

Бывают очевидно неверные конструктивные решения. Например, если стенка стального двутавра, являющегося обычной балкой перекрытия, располагается в горизонтальной плоскости или деревянный каркас легкой несущей стены выполнен без наклонных связевых элементов. Подобного рода решений следует избегать.

1.6. Конструктивные и конструктивно-технологические системы зданий. Три основных вида внутренних пространств

Конструктивная основа здания – реальный *несущий остов*, состоящий из отдельных взаимосвязанных несущих и связевых конструктивных элементов.

Их нематериальную проектную совокупность, позволяющую видеть, как принципиально будет обеспечиваться прочность, жесткость и устойчивость здания, называют **конструктивной системой**, или *схемой несущего остова* здания.

Такая идеализация необходима, чтобы инженеры более или менее точно определяли, в частности, расчетные внутренние усилия в элементах несущего остова, а архитекторы осуществляли начальные архитектурно-планировочные построения.

Вместе с тем бывает, когда конструктивную систему рассматривают и как материальный объект: деревянный, металлический, железобетонный и т. д.

В разделе «Архитектурно-конструктивные основы» рассматриваются преимущественно *простые* по форме несущие остовы жилых и общественных зданий в виде прямоугольных параллелепипедов и цилиндров. Они состоят из *вертикальных* и *горизонтальных* несущих элементов. К вертикальным относятся стены и колонны, к горизонтальным – несущие конструкции перекрытия (верхнее перекрытие называют также покрытием или крышей).

Конструктивные системы сравнительно несложных по форме и конструкции зданий при изучении основ конструирования целесообразно подразделять на две *основные* – *стенную* и *каркасную*, а также одну *производную* – *каркасно-стенную*. На их базе формируются три основных вида внутренних пространств, о которых говорится ниже. Эти конструктивные системы на рисунке 1.15 обведены толстой линией, остальные конструктивные системы приведены для справки.

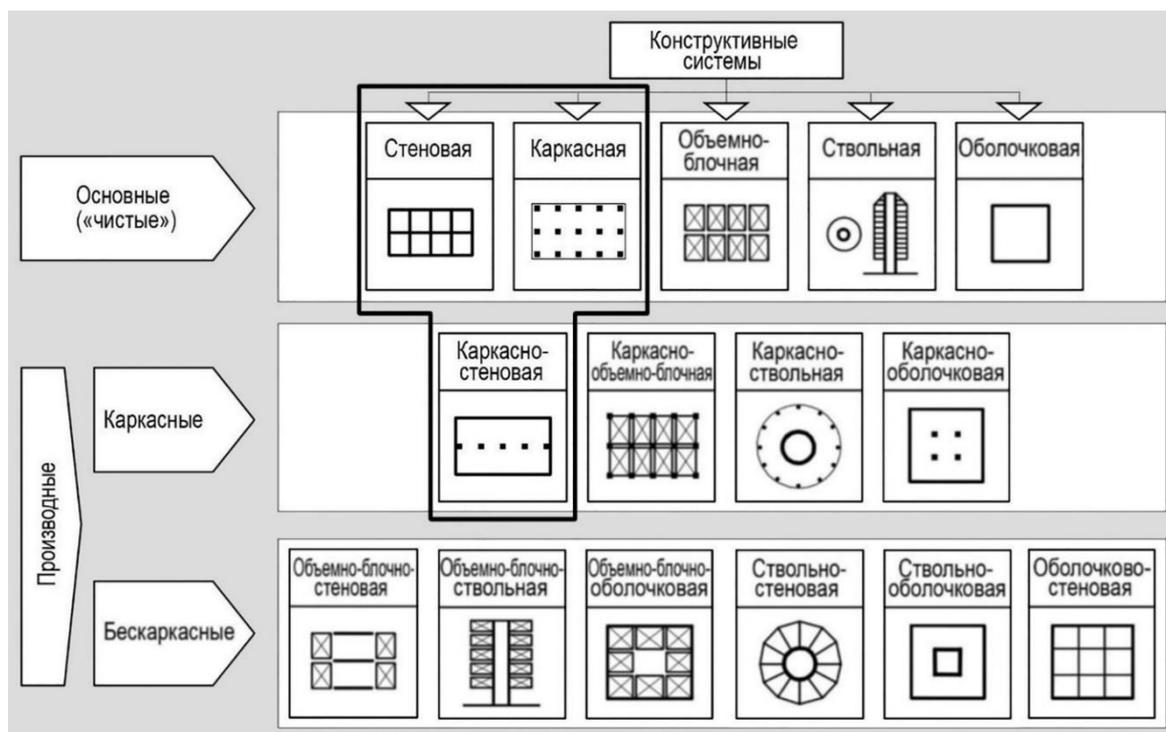


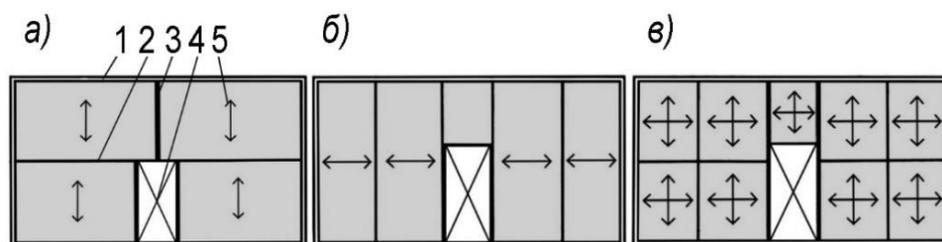
Рисунок 1.15. – Классификация конструктивных систем сравнительно несложных по форме и конструкции зданий

В случае стеновой конструктивной системы вертикальными несущими конструкциями здания являются стены, каркасной – колонны, каркасно-стеновой – колонны и стены (при этом колонны чаще всего располагают только внутри здания).

Конструктивные системы подразделяют главным образом по характеру работы под нагрузкой и виду вертикальных несущих конструкций. *Перекрытия* же в случае разных конструктивных систем, помимо того, что воспринимают вертикальные нагрузки, являются еще и *горизонтальными дисками жесткости*. Эти диски обеспечивают совместную работу вертикальных несущих конструкций.

В ходу и такое понятие, как *конструктивная схема*. Ею можно называть вариант конструктивной системы по признакам состава и размещения в пространстве несущих конструкций здания и (или) графическое изображение конструктивной системы.

Выделяют, например, три основные модификации простой стеновой конструктивной системы: *продольно-стеновая*, *поперечно-стеновая* и *перекрестно-стеновая* (рисунок 1.16).



а – продольно-стеновая конструктивная система; *б* – поперечно-стеновая конструктивная система; *в* – перекрестно-стеновая конструктивная система; 1 – наружная стена; 2 – внутренняя тонкая стена без вертикальных каналов для вентиляции и отвода дыма и газов (толщина кирпичной кладки в этом случае 250 мм); 3 – внутренняя стена с вертикальными каналами (толщина кирпичной кладки в этом случае 380 мм); 4 – лестничная клетка; 5 – стрелки, указывающие на несущие стены (на эти стены опираются перекрытия)

Рисунок 1.16. – Модификации стеновой конструктивной системы

При продольно-стеновой конструктивной системе перекрытия опираются на продольные несущие стены по двум своим противоположным сторонам, при поперечно-стеновой – на поперечные несущие стены по двум своим противоположным сторонам, при перекрестно-стеновой – на продольные и поперечные несущие стены по всем четырем сторонам (по контуру). Как и любые другие конструктивные системы (см., в частности, рисунок 1.15), каждая из указанных выше систем обладает своими достоинствами и недостатками. Так, здания с перекрестно-стеновой системой обладают самой высокой пространственной жесткостью по сравнению с другими модификациями стеновых систем. Продольно-стеновая система хороша в планировочном отношении, но в зданиях с ней могут быть чересчур сильно нагружены несущие стены.

Архитекторам и дизайнерам предметно-пространственной среды импонируют конструктивные системы, позволяющие реализовывать *свободные (гибкие) планировки* в пределах достаточно большого по объему пространства. Однако именно такие планировки требуются не всегда. Например, нередко студенческие общежития нуждаются в небольших жилых помещениях, ограждениями которых служат несущие стены в рамках перекрестно-стеновой конструктивной системы. Данная система среди трех модификаций стеновой системы при прочих равных условиях (площадь и высота этажа, пролеты перекрытий и т. д.) обеспечивает минимально возможную свободу планировки, максимально возможную дает продольно-стеновая система. Если же сравнивать стеновую и каркасную конструктивные системы, очевидно, что при прочих равных условиях более гибкую планировку обеспечивает вторая, ведь она лишена таких «планировочных помех», как внутренние несущие стены.

Выбирая расстояния между несущими стенами и колоннами зданий разных конструктивных систем, следует помнить, что максимальный изгибающий момент, действующий

в поперечном сечении несущей конструкции перекрытия, растет в квадратной зависимости от увеличения ее пролета. Значит, без особой надобности не стоит назначать этот геометрический параметр в обычном здании более 6,0–7,2 м.

Одна и та же конструктивная система, равно как и не входящие в ее состав конструкции, может быть выполнена из различных материалов: кирпича, сборного или монолитного железобетона, стальных или деревянных конструкций и т. д. Поэтому существует гораздо более широкая характеристика здания как объекта строительства, нежели конструктивная система, – это конструктивно-технологическая, или строительная, система.

Конструктивно-технологической системой здания, ее полным вариантом, можно назвать сочетание определенной конструктивной системы, всех не входящих в ее состав основных конструкций и конструктивных элементов, а также определенного метода строительного производства (материалы, технологии возведения и т. д.).

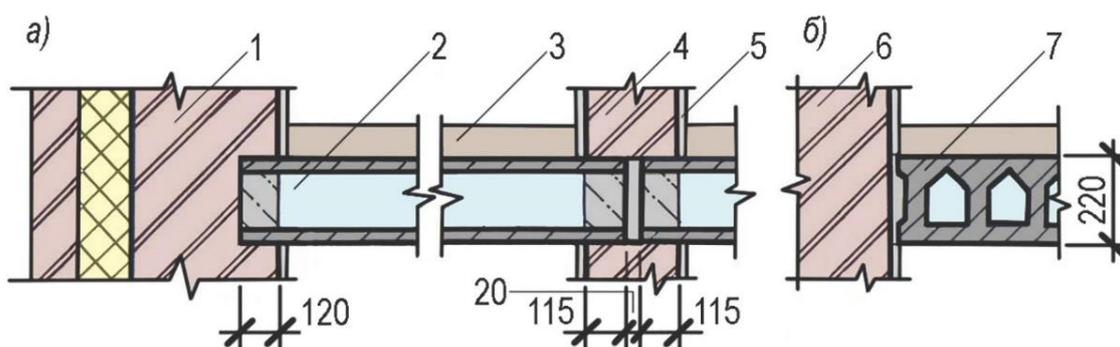
В мире существует огромное количество различных конструктивно-технологических систем, очень многие из которых являются целостными фирменными продуктами.

Пример самой общей характеристики одной из конструктивно-технологических систем – *одноэтажный многоквартирный жилой дом с мансардой на основе скрытого деревянного каркаса*. Вообще, полное описание конструктивно-технологической системы может занимать несколько листов (страниц) проекта.

Конструктивно-технологической системой удобно считать и несущий остов здания в конкретных конструкциях (в частности, в рамках настоящего пособия).

Рассмотрим конструктивно-технологические системы в такой трактовке применительно к ряду широко распространенных конструкций гражданских зданий: кирпичным стенам, монолитным железобетонным колоннам, сборным железобетонным плитам перекрытий и монолитным железобетонным плитам перекрытий.

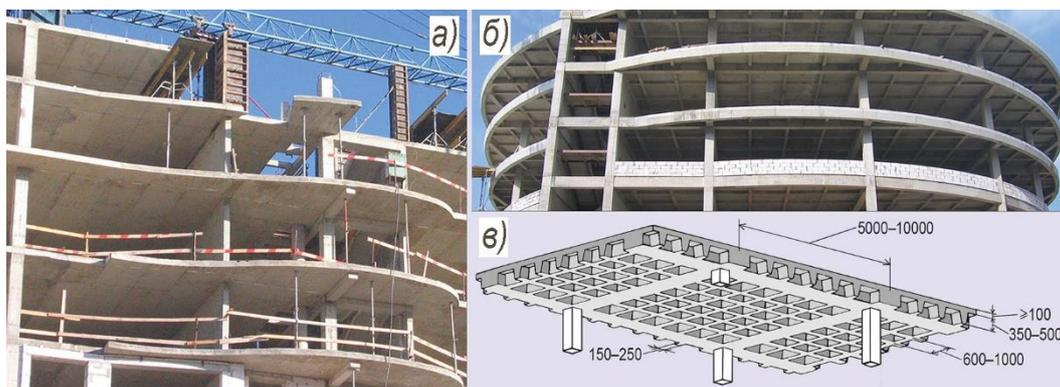
Сборные плиты (рисунок 1.17) рационально использовать в случае продольно-стеновой и поперечно-стеновой конструктивных систем, монолитные – перекрестно-стеновой, каркасной и каркасно-стеновой конструктивных систем. Монолитные колонны чаще всего имеют квадратную и прямоугольную форму поперечного сечения. В малоэтажных гражданских зданиях его размеры обычно составляют 200×200 и 300×300 мм, в многоэтажных – 400×400 и 500×500 мм.



а – опирание сборных многопустотных плит на стены; *б* – примыкание сборной многопустотной плиты к стене; 1 – наружная несущая трехслойная кирпичная стена; 2 – сборная многопустотная плита (в продольном сечении); 3 – пол; 4 – внутренняя несущая однослойная кирпичная стена; 5 – внутренняя штукатурка; 6 – внутренняя часть наружной самонесущей трехслойной кирпичной стены; 7 – сборная многопустотная плита (в поперечном сечении)

Рисунок 1.17. – Взаимодействие сборных многопустотных железобетонных плит перекрытия со стенами

В случае первого вида зданий несущие конструкции перекрытий представляют собой плоские диски толщиной, как правило, 200 мм. В случае второго вида они такие же или при больших нагрузках и пролетах дополненные утолщениями в виде балок (ребер) в створах колонн либо кессонные, т. е. с ребрами одного размера, идущими с одинаковым шагом вдоль и поперек плиты (рисунок 1.18).



a – перекрытия в виде плоских дисков толщиной 200 мм; ***б*** – перекрытия с главными и второстепенными балками; ***в*** – кессонное перекрытие

Рисунок 1.18. – Монолитные железобетонные перекрытия

Дизайнерам предметно-пространственной среды следует понимать особенности различных конструктивно-технологических систем. Это необходимо прежде всего для верного представления о **внутренних пространствах**. К их трем основным видам, упомянутым в прелюдии к данному разделу, относятся: 1) пространство с внутренними опорами в виде стен; 2) пространство с внутренними опорами в виде колонн; 3) пространство без внутренних опор (рисунок 1.19).



a – формирование пространства с внутренними опорами в виде стен в случае крупнопанельного здания (г. Алингсос, Швеция); ***б*** – формирование пространства с внутренними опорами в виде колонн в случае сборно-монолитного железобетонного каркаса КУБ – каркаса унифицированного безригельного (г. Минск); ***в*** – пространство без внутренних опор (г. Мадрид, Испания)

Рисунок 1.19. – Основные виды внутренних пространств

Пространство с внутренними опорами в виде стен характерно, например, для социального жилья и общежитий. Внутренние опоры в виде колонн позволяют осуществлять относительно гибкую планировку помещений, когда перегородки между ними без особых технических проблем перемещаются, добавляются или удаляются. Пространство без внутренних опор особо ценится, например, организаторами специализированных выставок, ведь всякий раз они могут по-новому осуществлять «нарезку» выставочной площади на отдельные стенды, рекреации и иные зоны.

1.7. Важнейшие конструкции зданий

В данном подразделе рассматриваются некоторые конструкции и инженерное оборудование, которые можно отнести к важнейшим с точки зрения осмысления принципиальной взаимосвязи между пространством помещений, а также формирующими его конструкциями и инженерным оборудованием.

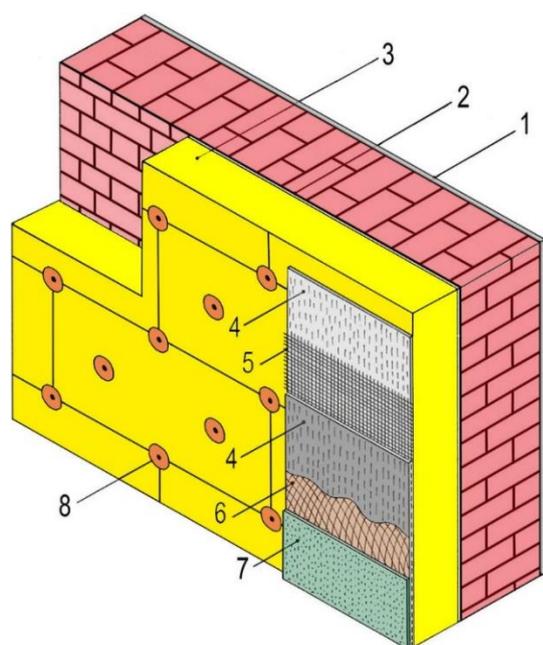
☞ Основную структурную часть стен выполняют, например, из штучных материалов: керамического кирпича, ячеистобетонных блоков и т. д.

Наружные стены являются теплоизоляционными системами. Условно однослойными (без учета наружной и внутренней отделки) могут быть стены из ячеистобетонных блоков. Наружные стены с другой основной структурной частью имеют специальные теплоизоляционные элементы. Среди них *эффективная теплоизоляция*, штукатурка по сетке на эффективной теплоизоляции (ориентировочная толщина 3–8 мм), облицовка на основе от эффективной теплоизоляции с образованием вентилируемого воздушного зазора, ветрозащита и др.

Уместно заметить следующее. Термин «эффективная теплоизоляция» используется в двух значениях. Первое значение – *теплоизоляционная система (система утепления)*, включающая в свой состав не только собственно теплоизоляционный материал (изделия), например плиты из минеральной ваты, но и, допустим, облицовку на основе, каркас облицовки, крепежные элементы, ветрозащиту, пароизоляцию и др., как в случае вентилируемой системы утепления (см. ниже). Второе значение – собственно теплоизоляционный материал (изделия), например плиты из экструдированного пенополистирола. Значит, слова «теплоизоляция» и «утеплитель» бывают синонимами. Отсюда и кажущийся терминологический разнобой.

Внутренние стены, которым, как и наружным, надлежит обладать достаточными звукоизоляционными свойствами, выполняют преимущественно из тех же материалов, что и наружные стены, за исключением специальных теплоизоляционных компонентов. Например, основной структурной частью как наружных, так и внутренних стен здания может быть кирпичная кладка. Толщина внутренних кирпичных стен составляет 250 или 380 мм, в зависимости от длины опирания на них несущих конструкций перекрытия или наличия в их толще вентиляционных или газоотводных каналов.

Можно выделить две конструкции наружных стен: с *легкой штукатурной системой утепления* (рисунок 1.20) и с *вентилируемой системой утепления*, называемой также *навесным вент-фасадом* (рисунок 1.21).



- 1 – кирпичная часть стены (толщина 510 мм);
- 2 – клеевой слой;
- 3 – эффективный утеплитель (толщина 100–200 мм);
- 4 – армированный слой;
- 5 – армирующая сетка;
- 6 – грунтовка;
- 7 – защитно-декоративный слой;
- 8 – дюбель-анкер

Рисунок 1.20. – Кирпичная стена с легкой штукатурной системой утепления

- 1 – кирпичная часть стены;
- 2 – выравнивающий штукатурный слой;
- 3 – прокладка;
- 4 – несущий кронштейн;
- 5 – опорный кронштейн;
- 6 – прижимной язычок;
- 7 – ось дюбель-анкера для крепления кронштейна к капитальной части стены;
- 8 – вертикальный опорный профиль;
- 9 – ось заклепки и заклепка;
- 10 – негорючий эффективный утеплитель (каменная вата);
- 11 – ветрозащита;
- 12 – дюбель-анкер;
- 13 – рядовой кляммер;
- 14 – концевой кляммер;
- 15 – заклепка;
- 16 – уплотняющая прокладка;
- 17 – облицовочная плита (из керамогранита)

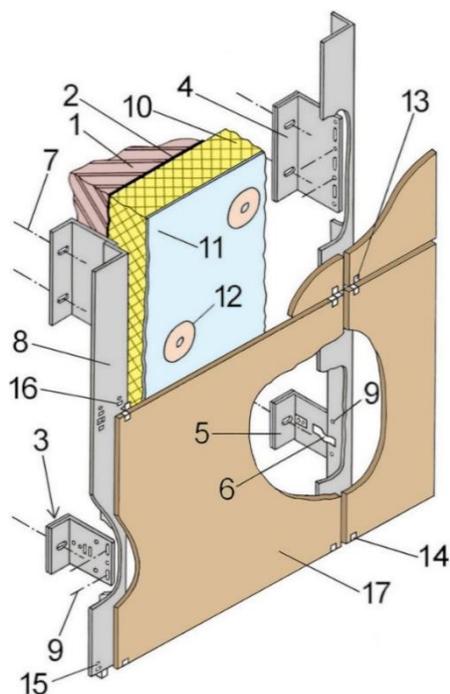
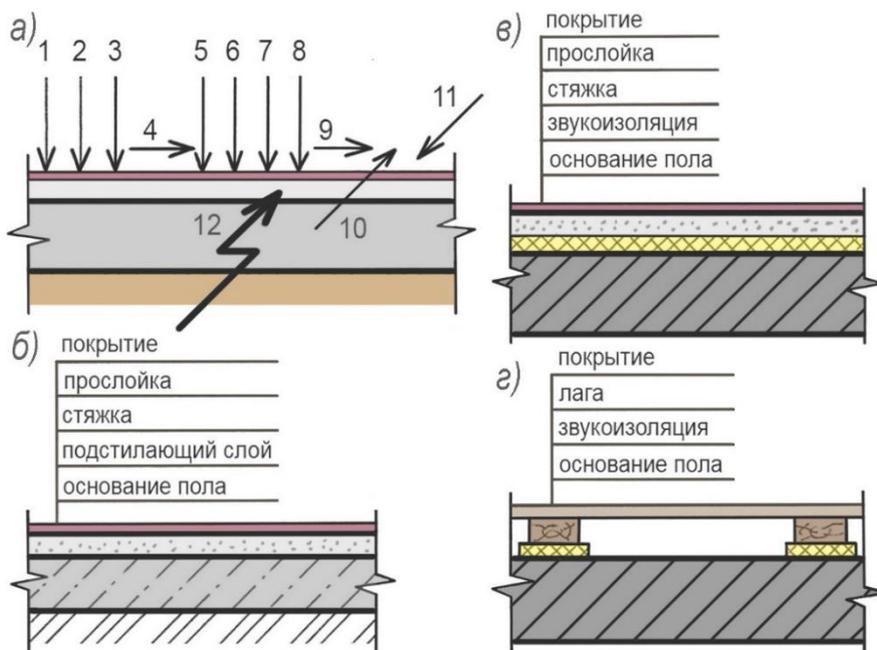


Рисунок 1.21. – Кирпичная стена с вентилируемой системой утепления (толщина вентилируемого зазора 40–50 мм)

☞ **Полы** можно подразделять на *слоистые* и *раздельного типа*. Их устраивают, как правило, на междуэтажном перекрытии или, точнее, на его несущей конструкции, а также на грунте (в подвальных и цокольных помещениях, а также в помещениях первых этажей, под которыми нет подвальных и цокольных помещений). Принципиальные конструктивные решения полов на междуэтажном перекрытии показаны на рисунке 1.22.



- а – нагрузки и воздействия на полы; б – слоистый пол на грунте; в – слоистый пол;
- г – пол раздельного типа; 1 – статические нагрузки; 2 – вибрация;
- 3 – динамические нагрузки; 4 – силы сдвига; 5 – температура окружающей среды;
- 6 – тепловые удары; 7 – агрессивная среда; 8 – влага; 9 – статическое электричество;
- 10 – блуждающие токи; 11 – биохимическое воздействие; 12 – сейсмические воздействия

Рисунок 1.22. – Принципиальные конструктивные решения полов

Полы со встроенной системой отопления, называемые теплыми полами, служат одновременно строительной конструкцией и инженерным оборудованием. Они бывают водяными и электрическими (рисунок 1.23).

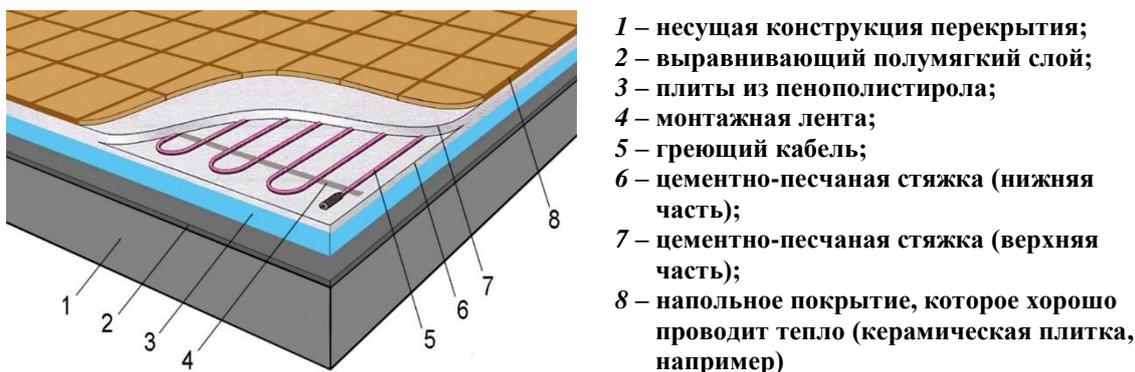


Рисунок 1.23. – Электрический теплый пол

Разделение внутреннего пространства зданий на помещения осуществляется как с помощью перекрытий и внутренних несущих стен, так и *перегородок*.

Лучшими с точки зрения обеспечения свободы и варибельности планировки являются сборно-разборные и трансформируемые перегородки, а худшими – стационарные перегородки.

Стационарные перегородки – это часто кладка из кирпича, ячеистобетонных и других каменных блоков плюс двухсторонняя штукатурка или иная отделка. Такие перегородки опирают, как правило, через слой раствора на несущую конструкцию перекрытия.

Сборно-разборные перегородки чаще всего имеют каркас из легких металлических (оцинкованная тонколистовая сталь) профилей, обшитых гипсокартонными или гипсоволокнистыми плитами, между которыми и каркасом размещается звукоизоляционный материал, например маты из минеральной ваты на основе стекловолокна. Могут опираться на напольное покрытие или стяжку пола.

Трансформируемые перегородки бывают преимущественно: 1) *прямо-раздвижными*; 2) *откатными*; 3) *шарнирно-складывающимися* из нешироких щитов (панелей); 4) *гармончатыми* с деревянным или металлическим каркасом, обшитым, например, искусственной кожей со звукоизоляционным слоем. Легкие перегородки могут подвешиваться к потолку. Двигаются перегородки на роликах по направляющим. Последние монтируются на напольном покрытии или заглубляются в пол.

Примеры перегородок показаны на рисунке 1.24.



- а* – оштукатуренная стационарная перегородка из эффективного керамического кирпича в процессе устройства;
- б* – сборно-разборная перегородка с каркасом из легких металлических профилей, звукоизоляцией из минераловатных матов на основе стекловолокна и обшивкой из гипсокартонных или гипсоволокнистых плит в процессе монтажа;
- в* – трансформируемая (шарнирно-складывающаяся) перегородка из жестких тонких плит

Рисунок 1.24. – Основные виды перегородок

☞ **Подвесные потолки** состоят из несущей части и декоративно-акустического ограждения. Несущая часть содержит подвес (подвески), каркас, а также крепежные и регулирующие детали. Если нет подвеса, потолок называется подшивным, если нет каркаса – бескаркасным. В подвесной потолок интегрируют светильники. Принципиальное конструктивное решение подвесного потолка от компании Кнауф и его внешний вид в процессе монтажа показаны на рисунке 1.25.



Рисунок 1.25. – Подвесной потолок с еще не смонтированным ограждением из гипсокартонных плит

☞ Натяжные потолки в самом простом исполнении состоят из полотна, например поливинилхлоридной пленки, которое присоединяют к крепежным профилям (багету). Принципиальные конструктивные решения натяжных потолков показаны на рисунке 1.26.

- 1 – поливинилхлоридная пленка (мембрана);
- 2 – невидимые гарпуны (гарпун – гибкая лента с поперечным сечением в виде крючка);
- 3 – видимый гарпун;
- 4 – универсальный алюминиевый профиль (багет);
- 5 – потолочный алюминиевый профиль (багет);
- 6 – пристенный невидимый алюминиевый профиль (багет);
- 7 – пристенный видимый алюминиевый профиль (багет);
- 8 – карнизная лента;
- 9 – крепежные элементы

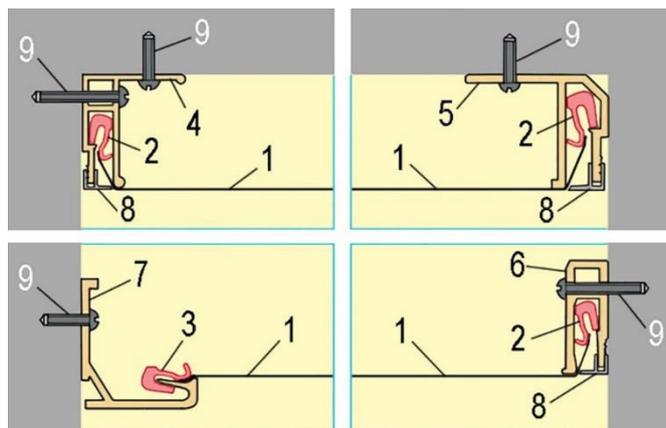


Рисунок 1.26. – Принципиальные конструктивные решения одноуровневых натяжных потолков компании Saros Design, Германия

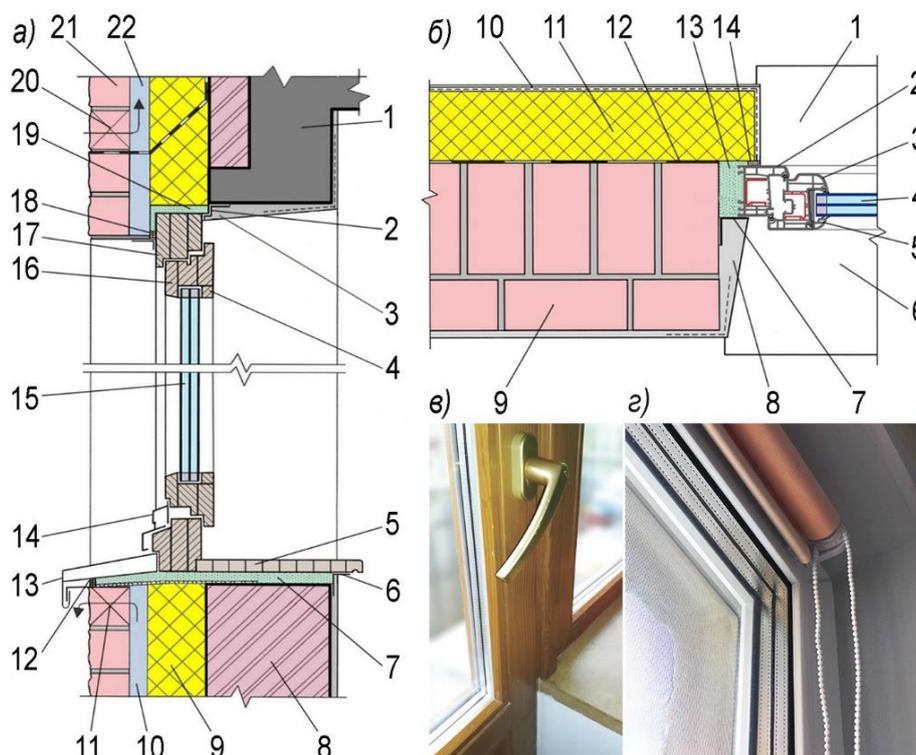
☞ Ограждение подвесного и полотно натяжного потолка скрывают то, что может находиться над ними: элементы систем отопления, воздухопроводы системы механической приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха, корпуса светильников, кабели электрических сетей, противопожарные средства и т. д. В результате этого улучшается, помимо прочего, распределение воздуха и тепла, погашается шум светильников и воздухопроводов.

☞ **Окна** отапливаемых помещений выполняют с использованием в качестве остекления стеклопакетов.

Возьмем для примера расположенное в стене окно (световой проем) с двумя стеклопакетами (рисунок 1.27, а). К основным элементам такого окна относятся:

- оконный проем – отверстие в стене, в котором монтируется оконный блок;
- оконный блок – оконная коробка (рама) с вертикальным импостом (стойкой), в одной ячейке которой находится створка, а в другой – глухой переплет;
- створка – стеклопакет в обрамлении, позволяющем этой части окна открываться;
- глухой переплет – стеклопакет в обрамлении, не позволяющем этой части окна открываться;
- переплет – створка и глухой переплет по отдельности или то и другое вместе.

На рисунках 1.27, б и 1.27, в показано принципиальное конструктивное решение того же окна.



- а** – фрагмент вертикального разреза трехслойной вентилируемой кирпичной стены и деревоалюминиевого окна; 1 – слив; 2 – 5-камерный профиль коробки с армирующим профилем; 3 – 5-камерный профиль створки с армирующим профилем; 4 – двухкамерный стеклопакет; 5 – штапик; 6 – подоконная доска; 7 – внутренний пароизоляционный слой; 8 – откос; 9 – кирпичная часть стены; 10 – тонкослойная штукатурка по стеклосетке; 11 – эффективный утеплитель; 12 – пароизоляция; 13 – центральный теплоизоляционный слой; 14 – наружный водоизоляционный паропроницаемый слой; **б** – фрагмент горизонтального разреза кирпичной стены с легкой штукатурной системой утепления и поливинилхлоридного окна; 1 – монолитная железобетонная плита перекрытия; 2 – внутренний пароизоляционный слой; 3 – откос; 4 – штапик; 5 – подоконная доска; 6 – внутренний пароизоляционный слой; 7 – расширенный центральный теплоизоляционный слой; 8 – кирпичная часть стены; 9 – эффективный утеплитель; 10 – вентилируемый воздушный зазор; 11 – верхнее вентиляционное отверстие; 12 – наружный водоизоляционный паропроницаемый слой; 13 – слив; 14 – алюминиевый профиль; 15 – двухкамерный стеклопакет; 16 – профиль створки из трех склеенных деревянных ламелей; 17 – профиль коробки из трех склеенных деревянных ламелей; 18 – наружный водоизоляционный паропроницаемый слой; 19 – центральный теплоизоляционный слой; 20 – нижнее вентиляционное отверстие; 21 – облицовочная кладка; 22 – водоотводящий фартук; **в** – фрагмент деревянной балконной двери и окна с двухкамерными стеклопакетами; **з** – фрагмент поливинилхлоридного окна с двухкамерным стеклопакетом, москитной сеткой и рольшторой

Рисунок 1.27. – Конструктивные решения окон

☞ **Покрyтия** (их называют также **крышами**) состоят из несущих конструкций и кровли. В зависимости от уклона их подразделяют на скатные и плоские. У последних уклон от 0 до ориентировочно 5°.

Основные *формообразующие элементы скатной крыши* показаны на рисунке 1.28.

- 1 – фронтон;
- 2 – конек;
- 3 – щипец;
- 4 – скат;
- 5 – накосное ребро;
- 6 – вальма;
- 7 – ендова (разжелобок);
- 8 – тимпан фронтона;
- 9 – карниз

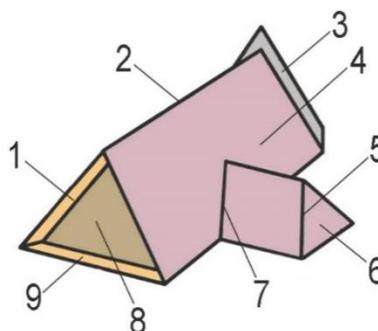
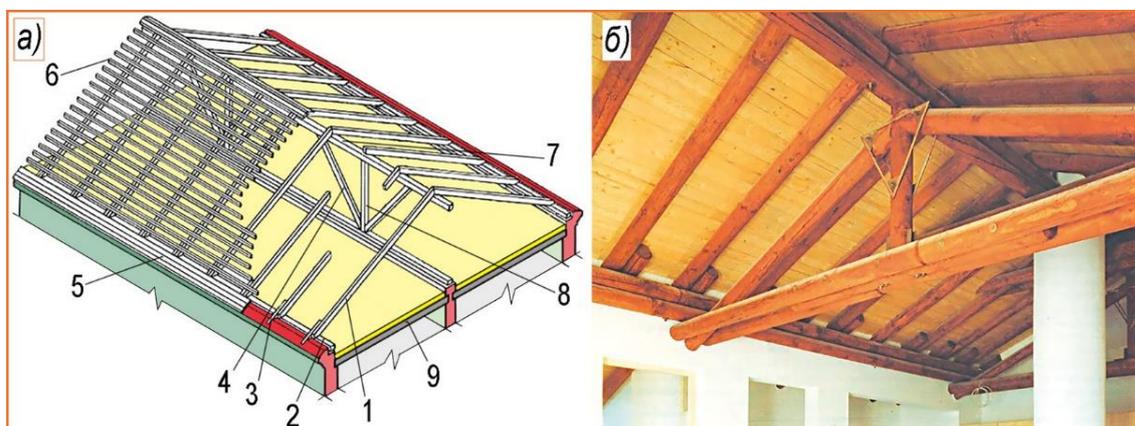


Рисунок 1.28. – Основные формообразующие элементы скатной крыши

Несущие конструкции скатных крыш – преимущественно *стропильные конструкции (стропила)*. Самые распространенные из них *деревянные*.

Стропила бывают *наслонными* и *висячими*. Первые для опирания нуждаются во внутренних вертикальных элементах несущего остова (стены, колонны); вторые, главные элементы которых часто представляют собой треугольные стропильные фермы, – не нуждаются.

На рисунке 1.29, *а* показаны наслонные стропила с одним центральным прогоном. Шаг их стропильных ног намного меньше шага стоек. Поэтому в отдельных случаях возможно удобное с интерьерной точки зрения переоборудование неотапливаемого чердака в отапливаемую мансарду. На рисунке 1.29, *б* отображен вариант интерьерного использования бревенчатых висячих стропил, шаг ферм которых может быть достаточно большим – до 6 м и даже более.

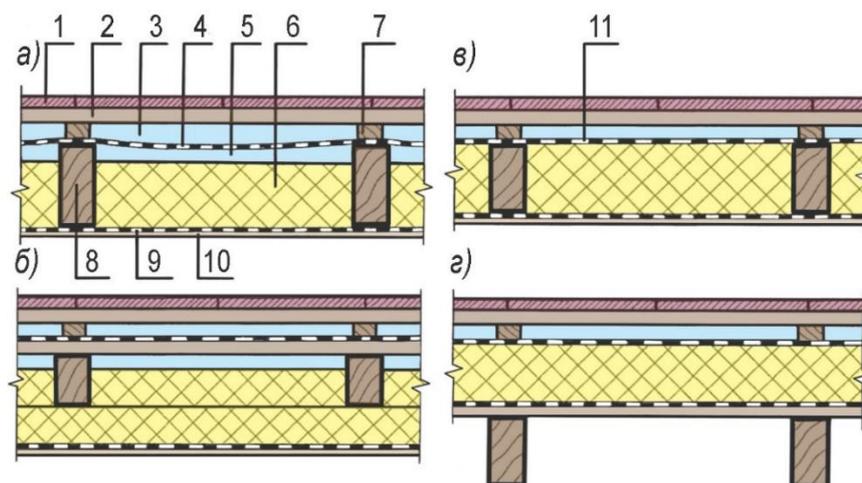


а – наслонные стропила (традиционные); *б* – висячие стропила (из оцилиндрованных бревен, фото компании Grünzweig + Hartmann AG, Германия); 1 – стропильная нога; 2 – мауэрлат; 3 – кобылка; 4 – подкос, 5 – карнизный свес; 6 – обрешетка; 7 – прогон; 8 – стойка, 9 – чердачное перекрытие

Рисунок 1.29 – Стропильные системы

☞ **Кровля** – часть крыши, защищающая здание от внешних воздействий. Кровлей называют также верхний водоизоляционный слой.

Кровли скатных крыш выполняют главным образом из мелкоштучных материалов (черепицы, битумно-полимерных плоских плиток и др.), а также штучных и листовых материалов (волнистых битумных гибких кровельных листов, оцинкованной листовой стали, металлочерепицы, волнистых асбестоцементных листов и др.). В состав мансардных кровель обязательно входит эффективная теплоизоляция (рисунок 1.30).

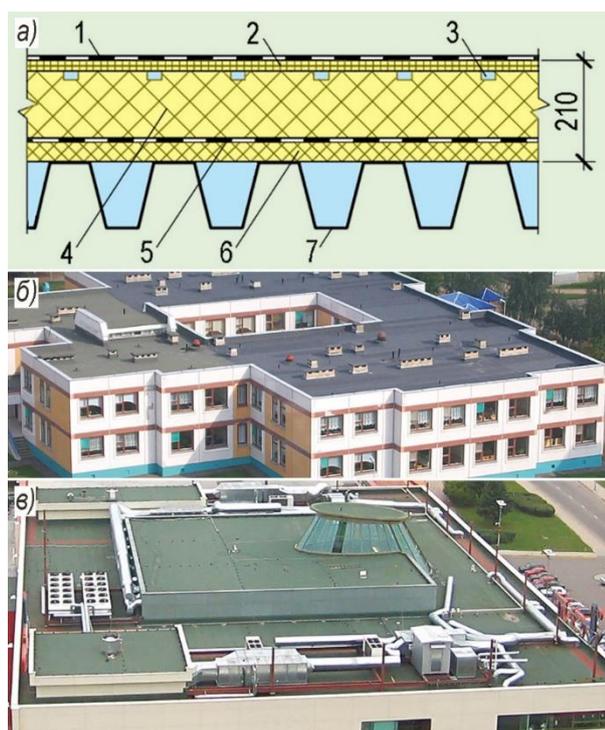


a – утеплитель между стропильными ногами (этот вариант самый простой и встречается чаще всего);
б – утеплитель между стропильными ногами и под ними (если толщина утеплителя превышает высоту поперечного сечения стропильных ног); *в* – утеплитель между стропильными ногами (при этом толщина утеплителя совпадает с высотой поперечного сечения стропильных ног); *з* – утеплитель над стропильными ногами; *1* – схематично показанный водоизоляционный слой из штучных материалов; *2* – обрешетка; *3* – верхняя вентилируемая воздушная прослойка; *4* – водоизоляционная пленка; *5* – нижняя вентилируемая воздушная прослойка, *6* – эффективный утеплитель; *7* – контробрешетка; *8* – стропильная нога, *9* – пароизоляция; *10* – потолочная подшивка; *11* – диффузионная пленка, не пропускающая воду, но пропускающая водяные пары

Рисунок 1.30. – Варианты размещения эффективного утеплителя в скатной кровле (крыше)

В состав *плоской кровли* (рисунок 1.31) входят, например, следующие основные элементы:

- *водоизоляционный ковер* из двух слоев битумно-полимерного рулонного материала, верхний из которых имеет защитную минеральную посыпку;
- *эффективная теплоизоляция* из минераловатных плит;
- *пароизоляция* – препятствует попаданию водяных паров из помещений в теплоизоляцию и водоизоляцию.



a – принципиальное решение плоской частично вентилируемой кровли, устраиваемой, например, по стальным фермам (см. рисунок 1.11);
б – плоская кровля детского сада в г. Минске (вентиляция здания – естественная);
в – плоская кровля торгового центра в г. Вильнюсе (Литва) здание оснащено системой искусственной климатизации

Рисунок 1.31. – Совмещенные плоские кровли (крыши)

☞ Дизайнер предметно-пространственной среды должен относить к важнейшим конструкциям и **фундаменты**, ибо без их правильного решения вряд ли возможна долговременная стабильность начального качества архитектурного пространства зданий.

Фундаментом является в большинстве случаев подземная конструкция. Она воспринимает нагрузки от других элементов здания и передает эти нагрузки на основание. Основанием же, как правило, служит грунт, свойства которого, если необходимо, улучшают. Неизменное основание называется естественным, измененное – искусственным.

В зависимости от конструкции фундаменты подразделяют на четыре базовых типа: **ленточные, столбчатые, свайные** и **плитные (сплошные)**. *Ленточные фундаменты* устраивают, как правило, под стенами; *столбчатые* – под колоннами или стенами, которые взаимодействуют с этими фундаментами через фундаментные балки; *свайные* часто используют вместе с ростверком, на который опирают стены или колонны; *плитные* располагают под всем зданием. Плитные фундаменты получают все большее распространение и в малоэтажном строительстве независимо от качества естественного основания. Железобетонные фундаменты в виде монолитной железобетонной плиты характерны для высокоэнергоэффективных зданий (см. раздел 2, рисунки 2.3 и 2.5). А на рисунке 1.3 (см. выше) можно увидеть ленточный фундамент, объединенный с плитным в единую монолитную железобетонную конструкцию.

☞ Для защиты зданий от грунтовой и (или) капиллярной влаги в нижней части зданий устраивают **гидроизоляцию** – горизонтальную и вертикальную. Она бывает чаще всего из битумосодержащих рулонных материалов.

☞ Становится все более актуальной и защита зданий от подземных газов (радон, метан, двуокись углерода и др.) – **газовая защита** (рисунок 1.32). Газ проникает в здание через трещины в монолитных полах, трещины в стенах ниже уровня земли, зазоры вокруг труб и т. д., достигая, бывает, опасных концентраций.

- 1 – вентилируемый слой;
- 2 – газовый барьер;
- 3 – вентиляционная отсыпка;
- 4 – вентиляционные проходы (отверстия) в стене

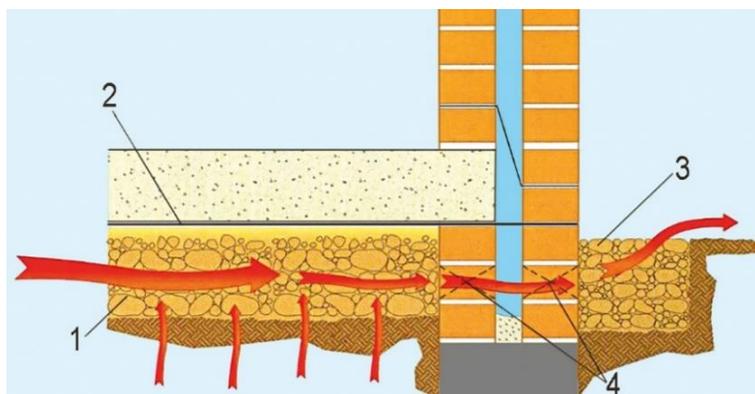


Рисунок 1.32. – Принципы газовой защиты на примере умозрительного неотапливаемого здания; решение бренда «Икопал» (Icopal)

Принимая во внимание современный недостаток стройплощадок, отказываться от опасного в смысле газового загрязнения места для строительства не всегда оправданно, т. к. можно устраивать надежную газовую защиту объектов. По большому же счету целесообразно обеспечивать газозащитой все здания без исключения. Если сегодня подземные газы не атакуют строительный объект, это не значит, что они не будут этого делать в будущем. А снабдить уже существующее здание газовой защитой весьма хлопотно и затратно, а порой и невозможно.

Вопросы для самопроверки

1. Какими должны быть современные здания с точки зрения расхода энергии на отопление и горячее водоснабжение?
2. Что такое пассивный дом?

3. Каковы основные требования к строительным конструкциям?
4. В чем суть BIM-технологии?
5. Что такое одностадийное и двухстадийное проектирование?
6. Для чего необходима модульная координация размеров в строительстве?
7. Правила чего назначает модульная координация размеров в строительстве?
8. Какие три вида размеров относятся к проектным размерам?
9. Что такое привязка к координационной оси и каковы основные виды привязок?
10. На какие виды подразделяются строительные конструкции?
11. Что такое конструктивная система?
12. Какие конструктивные системы преимущественно используются в случае малоэтажных гражданских зданий?
13. Каковы интерьерные особенности трех основных модификаций простой стеновой конструктивной системы зданий?
14. Что такое конструктивно-технологическая система здания?
15. Какие внутренние пространства зданий относятся к их основным видам?
16. Чем являются наружные стены?
17. На какие два типа можно подразделять полы?
18. В чем заключается конструктивная разница между стационарными, сборно-разборными и трансформируемыми перегородками?
19. Каковы основные элементы подвесных и натяжных потолков?
20. Из чего состоит окно отапливаемого помещения жилого дома?
21. Что относится к основным формообразующим элементам скатной крыши?
22. В чем заключается конструктивная сущность наслонных и висячих стропил?
23. Какие основные элементы составляют плоскую кровлю?
24. В каких случаях устраивают ленточные и другие базовые типы фундаментов?
25. Для чего нужна гидроизоляция нижней части зданий и их газовая защита?

2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Внутренней среде зданий надлежит отличаться комфортным тепло-влажностным режимом или, говоря короче, тепловым комфортом – слагаемым совокупного комфорта либо, если использовать терминологию международного концерна «Сен-Гобен» (Saint-Gobain), мультикомфорта. Когда перечисляют слагаемые комфорта, тепловой комфорт обычно ставят на первое место, подчеркивая тем самым его особое значение. Однако дизайнерам предметно-пространственной среды следует понимать, что достижение теплового комфорта не должно идти вразрез с требованиями к энергоэффективности зданий. Значит, их профессиональная результативность будет тем выше, чем точнее они учитывают и теплотехнические аспекты средового конструирования.

Необходимо заметить, что в настоящем разделе рассматриваются те ограждающие конструкции зданий, по одну сторону которых находится наружное пространство (условно «улица»), а по другую – внутреннее пространство (условно «комната»), т. е. именно наружные ограждающие конструкции.

2.1. Обеспечение энергоэффективности зданий

Энергоэффективность не следует путать с *энергосбережением*. *Энергосбережение* означает главным образом сокращение потребления энергии, а *энергоэффективность* – рациональное, минимально возможное потребление энергии тем или иным объектом либо предметом без снижения уровня комфорта и удобства пользователя.

Что касается *энергоэффективных зданий* (именно такими должны быть современные здания) то, говоря общо, это хорошо утепленные архитектурные объекты с рациональным расходом энергии прежде всего на отопление и вентиляцию.

Если судить более конкретно, имея в виду Беларусь, то, согласно СП 2.04.02-2020 «Здания и сооружения. Энергетическая эффективность», *энергоэффективным* называется здание, соответствующее по показателю удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период классу A_{h+} (очень высокий), A_h (высокий) или B_h (нормальный), а по показателю удельного расхода энергии на подогрев воды в системе горячего водоснабжения – классу A_{hw+} (очень высокий), A_{hw} (очень высокий), B_{hw} (высокий) или C_{hw} (нормальный).

Эти классы определяются как диапазон отклонений от базовых значений показателей. Например, для двухэтажного многоквартирного жилого здания с отапливаемой площадью 150–199 м² базовое значение по отоплению и вентиляции составляет 120 кВт·ч/м²; если такое здание относится к классу B_h , то соответствующий удельный расход энергии составит 75–102 кВт·ч/м², если к классу A_h – 60–74 кВт·ч/м², если к классу A_{h+} – менее 60 кВт·ч/м².

Чтобы здание было энергоэффективным, оно должно представлять собой ориентированную на низкое энергопотребление сбалансированную архитектурно-строительную и инженерно-техническую систему. Все, из чего здание складывается, следует так увязывать между собой, чтобы несущий остов не входил в противоречие с отделкой, отопление – с вентиляцией, окна – со стенами и т. д.

Среди отдельных сторон энергоэффективности зданий стоит заострить внимание на следующих двух, которые можно отнести к так называемой *геометрической энергоэффективности* (за нее отвечают, во-первых, архитекторы и, во-вторых, дизайнеры интерьеров):

1) **правильная ориентация зданий по странам света.** В Беларуси наибольшие по площади наружные стены с максимумом остекления следует обращать на юго-запад или немного южнее. Это объясняется особенностями солнечного сияния и направлением господствующих ветров. За этими стенами условно южной ориентации логично размещать главным образом помещения дневного пребывания. Спальни, санузлы, кладовые, лестницы и другие помещения, не требующие больших окон или окон вообще, рационально располагать у северной стороны здания. Стоит также сводить к допустимому минимуму площадь окон и других светопрозрачных наружных конструкций, т. к. у них сравнительно низкая теплозащитная способность, а в Беларуси продолжительность солнечного сияния в холодное время года невелика;

2) *наилучшие с точки зрения энергоэффективности внешние очертания здания.* Надо стремиться к тому, чтобы **показатель компактности здания** был минимально возможным (согласно СП 2.04.02-2020 «Здания и сооружения. Энергетическая эффективность», упомянутый показатель – это отношение общей площади внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций здания к заключенному в них отапливаемому объему). Помогает понять, почему здания должны быть компактными, рисунок 2.1. На нем – наложенные друг на друга схемы плана двух зданий с одинаковыми конструктивными решениями, равной площадью окон и входных дверей. План первого здания, заштрихованный горизонтальными линиями, квадратный. План второго здания, заштрихованный вертикальными линиями, с двенадцатью углами. Площадь того и другого плана одна и та же, но периметр плана второго здания длиннее периметра плана первого дома в 1,41 раза. Значит, площадь вертикальных ограждений, если их высота в обоих случаях равная, у второго здания тоже в 1,41 раза больше. Соответственно, выше и теплопотери. Если, кроме того, учесть восемь дополнительных прямых углов второго дома (они отмечены кружками), теплопотери окажутся еще процентов на десять больше.

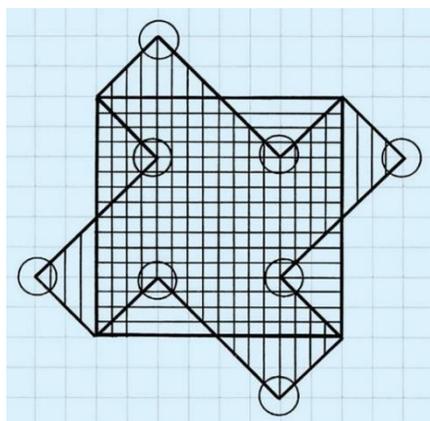


Рисунок 2.1.– Схемы двух разных по форме планов этажей здания, имеющих одинаковую площадь

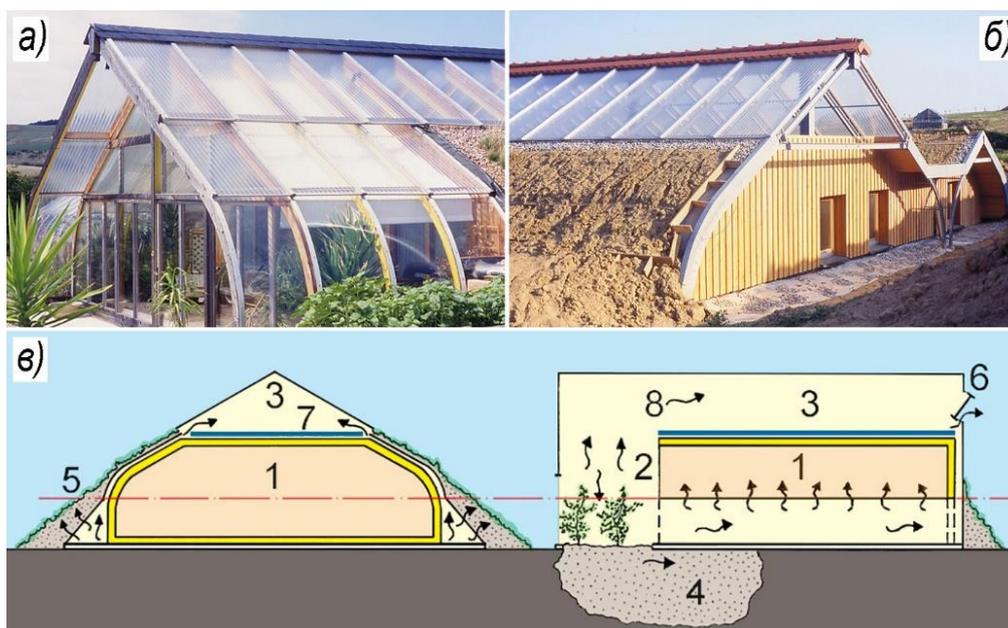
Одним из эталонов мирового энергоэффективного строительства являются комфортабельные здания, которые запроектированы и построены в соответствии с требованиями уже упомянутого в подразделе 1.1 *международного стандарта пассивного дома* (рисунок 2.2). К слову, этот хотя и *добровольно применяемый*, но весьма престижный стандарт разработан Институтом пассивного дома (г. Дармштадт, Германия). Удельный расход энергии на отопление и вентиляцию отапливаемых помещений пассивного дома не должен превышать $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2\cdot\text{в}$ год, ограничивается также общий расход энергии – тепловой и электрической. Стоит подчеркнуть: завидные энергетические и экологические показатели пассивных строений достигаются во многом за счет использования возобновляемых источников энергии. Пассивные дома и подобные им здания вполне можно называть **высокоэнергоэффективными**. На рисунке 2.2 – пример пассивного дома по-шведски.



а – главный фасад; б – дворовой фасад

Рисунок 2.2. – Строительство здания детского дошкольного учреждения как пассивного дома в г. Алингсесе, Швеция

Примеры весьма оригинального типа жилых высокоэнергоэффективных зданий приведены на рисунке 2.3.



a – зимний сад одного из построенных домов; *б* – торцевой фасад одного из строящихся домов; *в* – схема функционирования в дневное время обвалованного био-солнечного дома; 1 – жилое пространство; 2 – зимний сад; 3 – чердак-коллектор; 4 – грунтовый теплообменник; 5 – грунтовое покрытие; 6 – выпускной клапан; 7 – солнечные коллекторы; 8 – тепловой поток

Рисунок 2.3. – Био-солнечные дома в Германии (фото В. Г. Буто)

Эти здания – био-солнечные дома, разработанные компанией «Био-Солар-Хаус Бехер» (нем. Bio-Solar-Haus Becher), Германия. Первый поселок из них под названием Солнечный парк (нем. Sonnenpark) появился в коммуне Санкт-Альбан, расположенной примерно в 75 км юго-западнее г. Франкфурта-на-Майне. На рисунке 2.3 (см. выше) показан один из вариантов архитектурно-технического решения био-солнечных домов. Для них главные ресурсы – энергия солнца, ветра и грунта. Питательная вода очищается естественными методами и применяется повторно – для технических нужд. Эти постройки можно обваловывать или заглублять в грунт для использования его низкопотенциальной тепловой энергии.

В случае био-солнечных домов реализуется принцип «дом в доме», когда наружные ограждения формируют двойную оболочку. Ее наружная часть защищает от непогоды и «ловит» солнечную энергию. Эти постройки оснащаются комбинированной системой воздушно-водного отопления и естественной вентиляции. Следовательно, к важнейшим элементам био-солнечных домов относятся зимний сад и чердак-коллектор, с которыми сообщается воздушная прослойка, находящаяся между двумя оболочками. Внутренняя оболочка хорошо теплоизолирована, но при этом пропускает из помещений в прослойку отработанный (загрязненный) воздух, замещаемый свежим. Солнце нагревает воздух в прослойке и воду для системы отопления. Жилое пространство обогревается в результате циркуляции нагретой воды по трубам малого сечения, интегрированным во внутреннюю оболочку. Отработанный воздух отдает чердаку-коллектору свое тепло, после чего удаляется наружу. Приток свежего воздуха осуществляется через зимний сад.

Био-солнечные дома – образец приспособления зданий к окружающей среде. Но следует понимать: то, что построено на юге Германии, нельзя слепо копировать для строительства в Беларуси. Здесь на разных территориях свои климатические особенности, требующие грамотной адаптации к ним объектов-аналогов, запроектированных для мест с другим ландшафтом и климатом, в т. ч. на юге Германии.

2.2. Перенос теплоты

Требуемый микроклимат в здании возможен лишь при наличии правильно запроектированных и выполненных (возведенных, смонтированных) ограждающих конструкций – стен, крыши, окон и др.

Если температура наружного (вне здания) воздуха отличается от температуры внутреннего (в здании) воздуха, происходит *теплопередача (перенос теплоты)* через наружные ограждающие конструкции. *Теплота*, или *количество теплоты (Q)*, – мера энергии, которая передается одним телом другому при теплопередаче.

Зимой перенос теплоты идет через наружные ограждающие конструкции¹ из здания «на улицу» («улица» – это обычно наружный воздух и грунт). Соответствующие *потери теплоты (теплопотери)* компенсируются за счет системы отопления здания.

Летом перенос теплоты происходит в обратном направлении – «с улицы» внутрь здания. Для его защиты от *перегрева* используются, помимо прочего, наружные солнцезащитные устройства в виде, например, жалюзи с горизонтальными ламелями, перекрывающие снаружи окна, и система кондиционирования воздуха.

Процесс переноса теплоты принято разделять на *теплопроводность, конвекцию и лучистый теплообмен*.

Теплопроводность обусловлена тепловым движением и столкновением молекул. При разности температур внутри тела теплота передается от более теплой его части к более холодной. Теплопроводность в чистом виде наблюдается только в сплошных твердых телах. Большинство строительных материалов – пористые и высокопористые тела. К высокопористым относятся *эффективные теплоизоляционные материалы (утеплители)*, их пористость доходит до 95–98 %. Но для теплотехнических расчетов принято, что передача теплоты в пористых и даже высокопористых материалах осуществляется в основном за счет теплопроводности.

Конвекция происходит в газах (в т. ч. в воздухе), жидкостях (в т. ч. в воде) и сыпучих средах посредством потока вещества. При передаче теплоты, например, газу движение его молекул интенсифицируется, вследствие чего давление газа повышается.

Лучистый теплообмен, или **тепловое излучение**, представляет собой передачу теплоты в виде электромагнитных волн (фотонов) в пространстве (газообразной среде или вакууме) со скоростью света между излучающими поверхностями твердых тел, жидкостей, а также объемов газов и паров. В зависимости от температуры передача теплоты излучением происходит в разных областях спектра, но важнейшим для этого вида теплопередачи является инфракрасный диапазон спектра.

Один из основных теплотехнических показателей строительных материалов – **коэффициент теплопроводности (λ)**. Он представляет собой количество теплоты в Вт·ч, которое проходит в единицу времени через 1 м² однородного ограждения толщиной 1 м при разности температур на его поверхностях 1 °С. Размерность λ – Вт/(м·°С).

Коэффициент теплопроводности можно использовать при вычислении количества теплоты, переносимой через строительный материал за определенное время.

Если два тела с одинаковой площадью поверхности A , температуры которых t_1 и t_2 , разделены утеплителем, имеющим коэффициентом теплопроводности λ и толщину d , то за период времени h через утеплитель переносится количество тепла Q :

$$Q = \lambda/d(t_2 - t_1)Ah.$$

Как видно, чем меньше значение λ , тем выше теплоизолирующая способность материала. Эффективные утеплители в сухом состоянии имеют величину коэффициента теплопроводности,

¹ Согласно СП 2.04.01-2020 «Строительная теплотехника», **ограждающая конструкция** – это «конструкция, отделяющая помещение или объем здания с нормируемой температурой или температурой и относительной влажностью от наружного воздуха, грунта или разделяющая помещения здания с температурой, отличающейся более чем на 6 °С и различной относительной влажностью воздуха разделяемых конструкцией объемов». В настоящем же разделе рассматриваются ограждающие конструкции, отделяющие помещения от наружного воздуха.

попадающую в ориентировочный диапазон 0,030–0,050 Вт/(м·°С). Коэффициенты теплопроводности ряда строительных материалов из СП 2.04.01-2020 «Строительная теплотехника» приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Коэффициенты теплопроводности ряда строительных материалов

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии		Расчетный коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С), при условиях эксплуатации	
	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	А	Б
Железобетон	2500	1,69	1,92	2,04
Ячеистый бетон (газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат)	500	0,12	0,15	0,16
Цементно-песчаный раствор	1800	0,58	0,76	0,93
Кладка из кирпича керамического плотностью 1400 кг/м ³ (брутто)	1600	0,47	0,63	0,78
Сосна и ель поперек волокон	500	0,09	0,14	0,18
Сосна и ель вдоль волокон	500	0,18	0,29	0,35
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты	125	0,0413	0,0425	0,0434
	75	0,0414	0,0410	0,0419
	35	0,0396	0,0405	0,0414
Плиты пенополистирольные теплоизоляционные типа Р (резанные из крупногабаритных блоков)	20	0,0390	0,0398	0,0400
Плиты пенополистирольные теплоизоляционные пониженной теплопроводности типа Ф (формованные в специальных формах)	35	0,0320	0,0322	0,0323

Примечание: условия эксплуатации А соответствуют сухому режиму помещений, условия эксплуатации Б – нормальному, влажному или мокрому режиму помещений.

2.3. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции показывает, насколько хорошо ограждающая конструкция сопротивляется прохождению через нее тепла. Чем больше этот важный показатель, тем лучше ограждающая конструкция функционирует как преграда на пути теплового потока, и наоборот.

В случае теплотехнических дизайн-расчетов допустимо условно считать ограждающую конструкцию (если она не содержит большого количества теплопроводных включений и других элементов, значительно нарушающих ее теплотехническую однородность) теплотехнически однородной. При этом базовое значение *нормативного приведенного сопротивления теплопередаче* $R_{т,норм}$ следует умножить на повышающий коэффициент: пусть он будет равным 1,5 (незначительно отличается от указанных в СП 2.04.01-2020 «Строительная теплотехника» значений) для наружных стен и 1,1 (равен указанному в том же источнике) для перекрытий и покрытий. Согласно СП 2.04.02-2020 «Здания и сооружения. Энергетическая эффективность», базовые нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, бытовых и административных зданий производственных предприятий в случае строительства, реконструкции и модернизации составляют 3,2 м²·°С/Вт (наружные стены), 6,0 м²·°С/Вт (совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами), 1,0 м²·°С/Вт (заполнения световых проемов). Для сравнения: сопротивление теплопередаче наружных стен и крыш пассивных домов достигает 10,0 м²·°С/Вт и более.

Термическое сопротивление однородной (однослойной) ограждающей конструкции, а также *слоя* многослойной ограждающей конструкции R , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R = \frac{\delta}{\lambda},$$

где δ – *толщина слоя* ограждающей конструкции, м;

λ – **коэффициент теплопроводности материала** однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в определенных условиях эксплуатации, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_T , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_T = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{к}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}},$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – **коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности** ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

$R_{\text{к}}$ – **термическое сопротивление** ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

$\alpha_{\text{н}}$ – **коэффициент теплоотдачи наружной поверхности** ограждающей конструкции для зимних условий, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Слои конструкции, которые расположены между воздушной прослойкой (зазором), вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, в этом расчете не учитываются.

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями $R_{\text{к}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_{\text{к}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

где $R_1, R_2 \dots R_n$ – **термическое сопротивление отдельных слоев конструкции**, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, и **замкнутых воздушных прослоек**.

Используя вышеприведенный расчетный метод, можно выполнять дизайн-расчет толщины эффективной теплоизоляции в составе слоистых ограждающих конструкций или, например, толщины кладки из ячеистобетонных блоков, если, помимо нее, стена включает в свой состав только наружную и внутреннюю штукатурку. Кроме того, можно вычислять значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и сравнивать их с нормативными. Необходимые для расчетов данные следует брать в СП 2.04.01-2020 «Строительная теплотехника» и СП 2.04.02-2020 «Здания и сооружения. Энергетическая эффективность».

Для того чтобы быстро, в уме, оценить, в частности, толщину эффективной теплоизоляции в составе ограждающей конструкции, подходит оценочный (грубый) дизайн-расчет, когда **термическое сопротивление** R такой теплоизоляции приравнивается к **нормативному приведенному сопротивлению теплопередаче** $R_{\text{т.норм}}$.

Пример решения задачи по дизайн-расчету толщины эффективной теплоизоляции

Дано: конструкция слоистой наружной стены с вентилируемой воздушной прослойкой в случае здания для строительства в г. Витебске, показанная на рисунке 2.4.

Требуется: определить более или менее точно толщину эффективной теплоизоляции из минераловатных плит плотностью $75 \text{ кг}/\text{м}^3$ (см. таблицу 1).

- 1 – внутренняя штукатурка;
- 2 – кирпичная кладка;
- 3 – эффективная теплоизоляция наружной стены из минераловатных плит;
- 4 – вентилируемый воздушный зазор (прослойка);
- 5 – облицовка на отnose (экран);
- 6 – несущая конструкция чердачного перекрытия;
- 7 – пароизоляция;
- 8 – эффективная теплоизоляция чердачного перекрытия из минераловатных плит;
- 9 – паропроницаемое покрытие эффективной теплоизоляции из минераловатных плит (в случае необходимости);
- 10 – стропильная нога;
- 11 – мауэрлат;
- 12 – кровля;
- 13 – конструкция карнизного свеса кровли;
- 14 – водосточный желоб;
- 15 – отапливаемое помещение;
- 16 – холодный чердак;
- 17 – наружное пространство

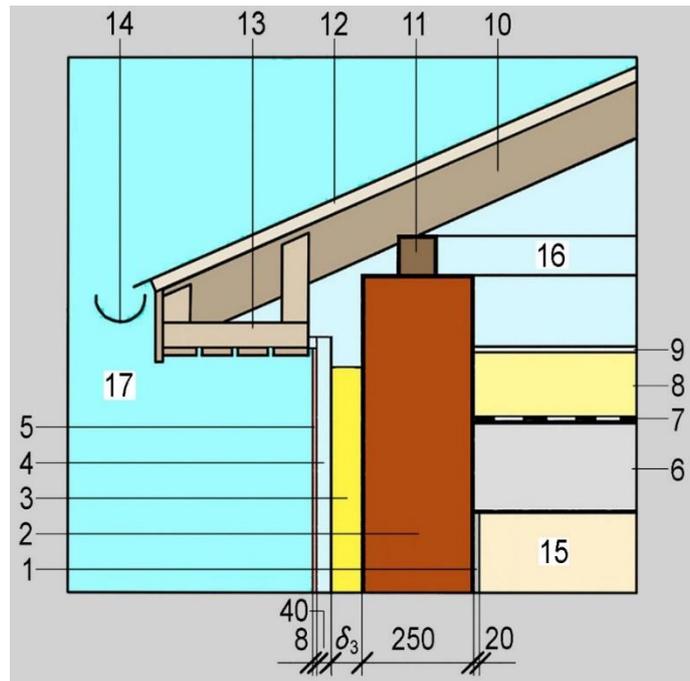


Рисунок 2.4. – Фрагмент разреза здания (карнизный узел)

Решение:

1. Слои 4 и 5, возможная пароизоляция, а также стальные соединительные элементы в расчете не учитываются.

2. Выводим формулу по определению сопротивления теплопередаче стены:

$$R_T = \frac{1}{\alpha_B} + R_K + \frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{\alpha_B} + R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_H}.$$

3. Выводим формулу по определению толщины эффективной теплоизоляции:

$$\delta_3 = \left(R_T - \frac{1}{\alpha_B} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{1}{\alpha_H} \right) \lambda_3.$$

4. Принимаем $R_T = 1,5R_{T,норм}$ и уточняем формулу по определению толщины эффективной теплоизоляции:

$$\delta_3 = \left(1,5R_{T,норм} - \frac{1}{\alpha_B} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{1}{\alpha_H} \right) \lambda_3.$$

5. Определяем толщину эффективной теплоизоляции:

$$\delta_3 = \left(4,8 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,015}{0,87} - \frac{0,25}{0,69} - \frac{1}{23} \right) 0,0419 =$$

$$= (4,8 - 0,115 - 0,017 - 0,362 - 0,043) 0,051 = 4,263 \cdot 0,0419 = 0,179 \text{ м.}$$

6. Принимаем толщину эффективной теплоизоляции равной 180 мм.

Пример решения задачи по оценочному дизайн-расчету толщины эффективной теплоизоляции

Дано: см. предыдущий пример.

Требуется: см. предыдущий пример.

Решение:

1. Принимаем $R_3 = 1,5R_{г.норм} = 4,806 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

5. Определяем толщину эффективной теплоизоляции:

$$\delta_3 = 4,80 \cdot 0,0419 = 0,201 \text{ м.}$$

6. Принимаем толщину эффективной теплоизоляции равной 200 мм.

Комментарий

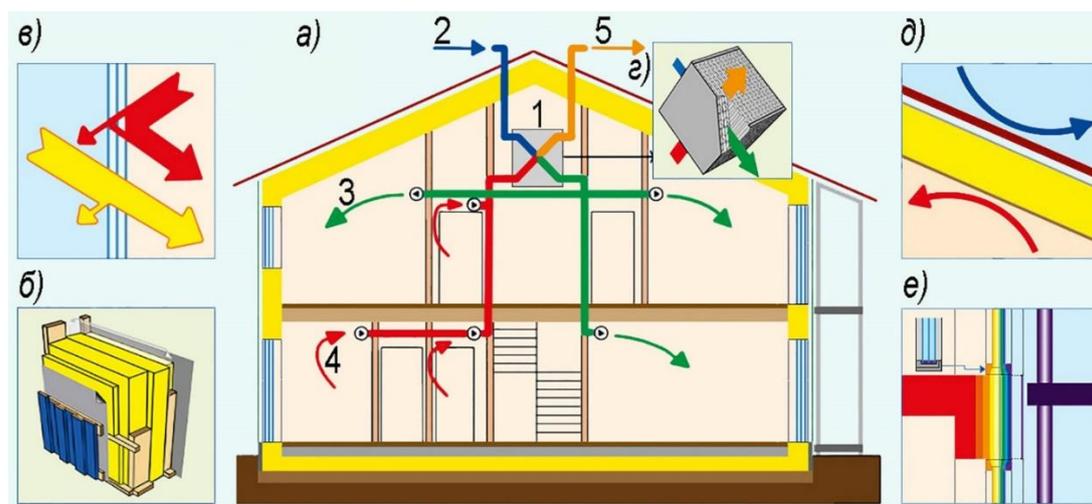
Как видно, разница результатов двух дизайн-расчетов сравнительно мала, а именно 11 %. Не слишком далеко от них уйдут и результаты гораздо более точных расчетов по СП 2.04.01-2020 «Строительная теплотехника».

2.4. Основные конструктивные принципы тепловой защиты зданий

Помимо расчетов приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, инженеры-теплотехники рассчитывают теплоустойчивость помещений, теплоусвоение поверхности полов, сопротивление воздухопроницанию и паропроницанию ограждающих конструкций и другие показатели, рассматривая здание вместе с другими участниками проектирования как *единую архитектурно-энергетическую систему*.

Но в любом случае инженерные решения базируются на предложениях архитекторов и дизайнеров интерьеров. Значит, и те и другие обязаны умело учитывать, помимо прочего, теплотехническую сторону проектов, которая подразумевает правильную реализацию соответствующих конструктивных принципов. Их можно назвать *конструктивными принципами тепловой защиты зданий*.

Рассмотрим основные из них на примере пассивных домов (рисунок 2.5).



а – принципиальная строительная и техническая схема функционирования дома; *б* – усиленная теплоизоляция; *в* – высокоэффективные окна; *г* – утилизация теплоты вытяжного воздуха; *д* – герметичность здания; *е* – недопущение мостиков холода; *1* – перекрестноточный теплоутилизатор; *2* – свежий воздух; *3* – приточный воздух; *4* – вытяжной воздух; *5* – удаляемый воздух

Рисунок 2.5. – Конструктивные принципы теплозащиты пассивного дома

1. Усиленная теплоизоляция (см. рисунок 2.5, б)

Все непрозрачные элементы наружной оболочки здания (стены, крыша, перекрытие над наружным или неотапливаемым пространством, пол на грунте) должны быть очень хорошо теплоизолированными. Для климата, подобного белорусскому, это означает сопротивление теплопередаче не менее $6,67 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

2. Высокоэффективные окна (см. рисунок 2.5, в)

Окна должны быть оснащены стеклопакетами с низкоэмиссионными стеклами, камеры которых заполнены инертным газом с очень низкой теплопроводностью в спокойном состоянии – аргоном или криптоном. Для климата, подобного белорусскому, это означает сопротивление теплопередаче не менее $1,25 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ при величине общего пропускания окнами солнечной энергии около 50 %. В идеале окна пассивного дома должны беспрепятственно пропускать сквозь себя солнечную энергию и совершенно не пропускать наружу тепловую энергию.

3. Утилизация теплоты вытяжного воздуха (см. рисунок 2.5, г)

По меньшей мере 75 % теплоты вытяжного воздуха должно передаваться приточному воздуху с помощью рекуперативного или регенеративного теплоутилизатора, входящего в состав механической приточно-вытяжной вентиляции.

4. Герметичность здания (см. рисунок 2.5, д)

Неконтролируемая утечка воздуха через зазоры наружной оболочки здания должна быть меньше чем 0,6 всего объема здания в час во время испытания как при избыточном, так и при недостаточном (разрежение) давлении 50 Па.

5. Недопущение мостиков холода (см. рисунок 2.5, е)

Конструкция наружной оболочки здания не должна содержать в себе мостиков холода (теплопроводных включений) в виде, например, балконной плиты, прерывающей сплошность теплоизоляции. Если без таких мостиков обойтись невозможно, их влияние необходимо сводить к возможному минимуму.

Вопросы для самопроверки

1. В чем отличие энергоэффективности от энергосбережения?
2. Что такое энергоэффективное здание?
3. В чем заключается геометрическая энергоэффективность?
4. Когда происходит теплопередача?
5. Что такое теплота?
6. Чем является ограждающая конструкция с точки зрения строительных правил по строительной теплотехнике?
7. Что такое теплопроводность?
8. Что такое конвекция?
9. Что такое лучистый теплообмен?
10. Какова размерность коэффициента теплопроводности?
11. Чему равны базовые нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций согласно СП 2.04.02-2020 «Здания и сооружения. Энергетическая эффективность»?
12. По какой формуле вычисляют термическое сопротивление слоя многослойной ограждающей конструкции?
13. Что относится к конструктивным принципам тепловой защиты зданий?
14. Посредством чего осуществляется утилизация теплоты вытяжного воздуха в пассивных домах?

3. АКУСТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Шум способен серьезно отравить жизнь любому человеку. И когда он проходит через негодные ограждающие конструкции здания, и когда шумом становятся звуки со сцены в зрительном зале с плохой акустикой. Понимание и достаточное знание того, как обходиться с шумом и звуком, не может не помочь дизайнеру предметно-пространственной среды своими средствами добиваться акустического комфорта для людей. Стоит ему хотя бы грамотно поставить задачу инженеру-акустику при проектировании отделки зрительного зала, как возможные акустические проблемы, связанные с ней, никогда не проявят себя.

3.1. Звук. Прохождение звука через ограждающую конструкцию

Звук – это ощущение при воздействии на ухо колеблющейся среды, а также сами эти колебания. Термин «звук» тесно связан с термином «акустика». **Акустикой** называют область физики, изучающую звук, т. е. механические колебания с малыми амплитудами.

Самая простая **акустическая система** включает в себя **источник звука**, **передающую звук среду** (ею может быть любое вещество, для человека это чаще всего воздух) и **приемник звука**.

Упрощенно **звук** рассматривают как разновидность **кинетической энергии**, переносимой **звуковой волной**. В случае передающей среды в виде газа или жидкости колебания передаются в результате распространения продольных волн – чередования сжатия и разрежения среды. Отношение к звуку как потоку энергии дает возможность решать на практике много акустических задач.

Для каждой передающей звук среды, находящейся в определенном состоянии, его скорость постоянна. Для воздуха при температуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении эту скорость принимают равной 340 м/с, для пресной воды при температуре 15 °С – приблизительно 1450 м/с. В твердой среде скорость распространения звука намного выше, чем в газах и жидкостях (например, в древесине мягких пород эта скорость порядка 3000 м/с).

Источник звука определенной **мощности** удобно представлять в виде **точечного** источника энергии. Распространение от него звуковых колебаний равномерно во всех направлениях.

Звуковая мощность источника звука – это общее количество звуковой энергии, которое излучается им в окружающее пространство за единицу времени.

На удалении от источника звука определяется его **интенсивность**. Если предположить, что в пространстве нет отражающих звук поверхностей, то имеет силу следующая формула, связывающая между собой **интенсивность звука** и **звуковую мощность**:

$$I = P / (4\pi r^2),$$

где P – звуковая мощность источника, или звуковая мощность, Вт;

r – расстояние до источника звука, м;

I – интенсивность звука, Вт/м².

Когда источник звука находится на земле, рассматривается полусфера (рисунок 3.1). В этом случае формула по определению интенсивности звука принимает следующий вид:

$$I = P / (2\pi r^2),$$

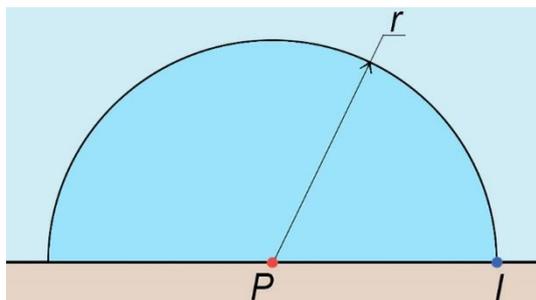


Рисунок 3.1. – Распространение звука от точечного источника, находящегося на земле

Пример решения задачи по определению мощности звука

Дано: 6 тысяч зрителей на стадионе в г. Новополоцке одновременно кричат: «Гол!».

Требуется: определить звуковую мощность, которая создается при этом.

Решение:

Согласно таблице 2 на странице 52, звуковая мощность человека при крике 0,001 Вт.

Значит, звуковая мощность 6 тысяч кричащих зрителей равна $10^{-3} \text{ Вт} \cdot 6000 = 6 \text{ Вт}$.

Человек не способен напрямую воспринимать интенсивность звука, поскольку его орган слуха реагирует только на изменение **звукового давления**. Зависимость между интенсивностью звука и звуковым давлением имеет следующий вид:

$$I = p^2 / (nZ) = p^2 / (n\rho c),$$

где p – звуковое давление, Па;

$Z = \rho c$ – волновое сопротивление среды (принимается для воздуха при нормальных атмосферных условиях 400 Па·с/м);

ρ – плотность среды (принимается для воздуха при нормальных атмосферных условиях 1,20 кг/м³);

c – скорость звука в среде;

n – постоянная, которая принимает значения от 1 до 4 в зависимости от характера звукового поля.

Если источник звука находится на большом удалении, а в пространстве отсутствуют отражающие звук поверхности, то в воздухе распространяется свободная плоская звуковая волна ($n = 1$ в формуле выше, при этом можно пользоваться первой формулой этого подраздела).

Для диффузного (рассеянного) звукового поля, когда звуковые волны поступают со всех возможных направлений, $n = 4$.

Громкость звука, будучи субъективным слуховым ощущением, сложным образом зависит не только от интенсивности звука, но и от его **частоты**, а также **амплитуды** и **формы** звуковых колебаний.

О **частоте** звука дает хорошее представление удар по струне гитары. Благодаря ему струна в зависимости от своей толщины и длины совершает определенное количество колебаний в единицу времени (одно колебание в секунду – это 1 Гц). Чем больше частота, тем выше **тон** – **высота звука**. Амплитуда колебаний обуславливает громкость звука. Чем сильнее ударить по струне гитары, тем с большей амплитудой она колеблется, а следовательно, громче звучит.

При одной и той же частоте громкость звука усиливается по мере роста его интенсивности. Если интенсивность неизменна, самая большая громкость у звуков с частотой 700 – 6000 Гц.

Что касается **формы** звуковых колебаний, тон – это синусоида, звучание – наложение многих тонов (синусоид), шум – нерегулярная и незакономерная форма, лишь напоминающая синусоиду. Форма колебаний обуславливает **окраску звучания**.

Объективной единицей измерения высоты звука, приблизительно отражающей его субъективное восприятие человеком, служит **октава**. Она представляет собой двукратное отношение частот акустических колебаний. Октавные полосы частот использованы, например, в строительных нормах СН 2.04.01-2020 «Защита от шума».

На рисунке 3.2 приблизительно показаны три **акустических поля**, напоминающих матрешку: **поле слышимости**, **поле музыкальное** и **поле разговорной речи**. Первое включает в себя второе и третье, а второе – только третье. Взрослый человек со здоровым слухом воспринимает звуковые частоты в примерном диапазоне 16–16000 Гц, молодой человек способен слышать звуки частотой до 20000 Гц, ребенок – до 24000 Гц. Отметим и то, что в реальных условиях уловить полезную звуковую информацию на фоне шума возможно, если первая превышает уровень последнего по меньшей мере в 2 раза, т. е. на 3 дБ. Лучше, когда эта разница больше – до 15 дБ.

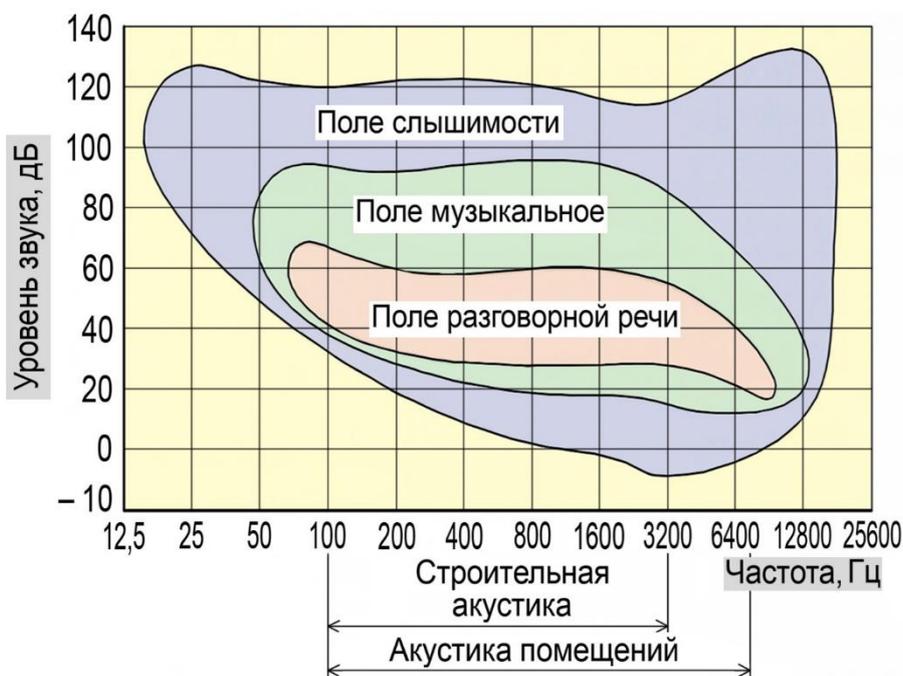


Рисунок 3.2. – Акустические поля

Человеческое ухо реагирует на относительное, а не абсолютное изменение интенсивности звука, причем изменение энергии звука и соответствующие слуховые ощущения находятся в логарифмической зависимости. Поэтому, а также чтобы не иметь дела со слишком маленькими и слишком большими величинами, оперировать которыми затруднительно, в акустике используется такая математическая единица, как *децибел (дБ)*. В практическом отношении она удобнее, чем в 10 раз превышающий ее *бел (Б)*.

Объяснить, что это за единицы, можно на следующем примере. Если черепахе 100 лет, а мартышке 1 год, это значит, что первая старше второй в 100 раз. Но эту разницу можно представить и по-другому: черепаха старше мартышки на 2 бела или 20 децибел. Бел представляет собой *десятичный логарифм отношения двух величин*.

При этом в акустике рассматриваются *уровни (L)* в дБ применительно к звуковой мощности, интенсивности звука и звуковому давлению. Уровни соотносят с *опорными величинами*.

Опорные величины:

- звуковая мощность $W_0 = 10^{-12}$ Вт;
- интенсивность звука $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м²;
- звуковое давление $p_0 = 20 \cdot 10^{-6}$ Па.

Уровни:

- уровень звуковой мощности $L_w = 10 \lg(W / W_0)$, дБ;
- уровень интенсивности звука $L_I = 10 \lg(I / I_0)$, дБ,
- уровень звукового давления $L_p = 10 \lg(p / p_0)^2$, дБ.

Опорная величина звукового давления соответствует *порогу слышимости* на частоте колебаний звуковых волн 1000 Гц. Уровень интенсивности звука и уровень звукового давления примерно равны в поле свободной плоской звуковой волны при нормальных атмосферных условиях. Стоит также отметить, что интенсивность звука обратно пропорциональна квадрату расстояния от его источника до точки наблюдения и снижается на 6 дБ при каждом удвоении этого расстояния.

Чтобы выполнить сложение (вычитание) величин в дБ, можно перевести их в «обычные» числа, а затем перейти к десятичному логарифму полученной суммы (разности) «обычных» чисел.

Пример сложения величин в дБ

Дано: величины в дБ: 43, 45, 33, 32 и 38.

Требуется: вычислить сумму этих величин.

Решение:

1. Переводим величины в белы: 4,3; 4,5; 3,3; 3,2 и 3,8 Б.

2. Переходим к «обычным» числам, округляя результаты возведения в степень:

$$10^{4,3} + 10^{4,5} + 10^{3,3} + 10^{3,2} + 10^{3,8} = 20000 + 30000 + 2000 + 1600 + 6300 = 60000 = 10^{4,8}.$$

3. Определяем сумму величин в белых и децибелах: 4,8 Б = 48 дБ.

Если выразить результат решения задачи по определению мощности звука (см. выше) в дБ, получится

$$L_w = 10 \lg(W / W_0) = 10 \lg(6 / 10^{-12}) \text{ дБ} = 128 \text{ дБ}.$$

Часто возникает необходимость суммирования уровней звукового давления, которое создают в расчетной точке пространства по меньшей мере два источника звука (шума).

Если несколько источников звука одинаковы по создаваемому звуковому давлению, то суммарный уровень звукового давления L_p в дБ от них

$$L_p = L_{pi} + 10 \lg n,$$

где n – количество одинаковых по звуковому давлению источников.

Например, если одновременно шумят четыре одинаковых вентилятора, то вместе они создают звуковое давление, уровень которого на 6 дБ больше, чем в случае каждого из них.

Если каждый из источников звука создает отличное от других источников звуковое давление, то его суммарный уровень

$$L_p = 10 \lg \left(10^{0,1L_{p1}} + 10^{0,1L_{p2}} + \dots + 10^{0,1L_{pn}} \right),$$

где L_1, L_2, \dots, L_n – уровни звукового давления, создаваемого каждым источником звука.

В таблице 2 приведены примерные значения звуковой мощности некоторых источников звука, а также звукового давления и его уровня вблизи них (чаще всего на расстоянии 1 м).

Таблица 2. – Звуковая мощность некоторых источников звука, звуковое давление и его уровень вблизи них (примерные значения)

Источник звука	Звуковая мощность, Вт	Звуковое давление, Па	Уровень звукового давления, дБ
<i>Порог слышимости</i>	0,000000000001	0,00002	0
Человек (шепот)	0,000000001	0,0006	30
Человек (нормальная разговорная речь)		0,06	70
Человек (крик)	0,001	0,6	90
Грузовик (максимальный шум при движении)	0,01	2	100
Отбойный молоток (максимальный шум при работе с ним)	1	20	120
<i>Болевой порог</i>	1	20	120
Симфонический оркестр (мощное фортиссимо)	10	60	130
Реактивный самолет (при взлете)	100	200	140

Уровень интенсивности звука в децибелах не отражает различную чувствительность слуха человека к звукам разной частоты. Поэтому существует такое понятие, как **уровень громкости** звука. Единица его измерения – **фон** (англ. phon). Уровень громкости в фонах находят, сравнивая

оцениваемый звук со звуком такой же воспринимаемой громкости, частота которого 1000 Гц, т. е. звук указанной частоты имеет равную громкость и в фонах, и в децибелах. На рисунке 3.3 изображено стандартизированное семейство *кривых равной громкости*, которые называются также *изофонами*.

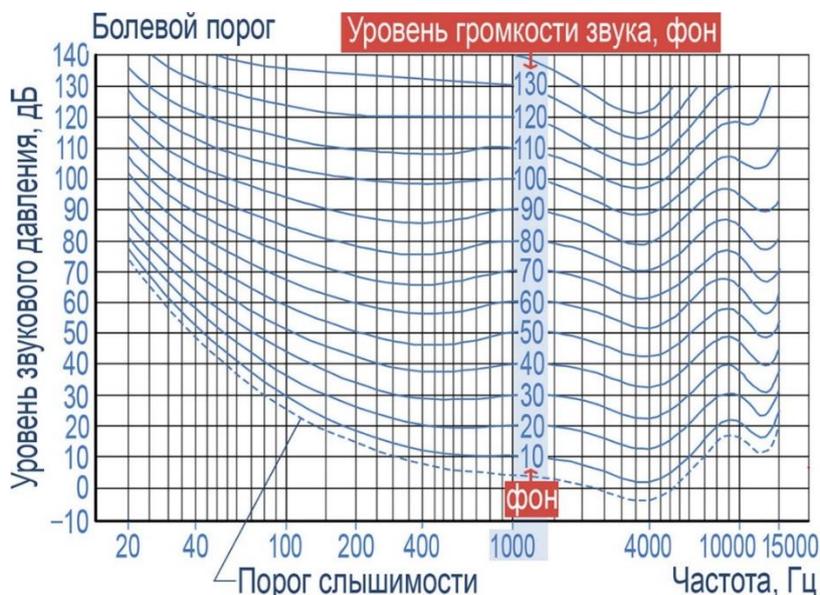


Рисунок 3.3. – Стандартизированное семейство изофонов

Изофоны были построены экспериментальным путем и довольно точно отражают взаимосвязь объективного и субъективного в восприятии уровня громкости. Как явствует из рисунка 3.3 (см. выше), значения максимальной чувствительности слуха находятся в диапазоне 2000 – 5000 Гц – основной области частот человеческой речи. Кроме того, видно, что низкие частоты воспринимаются лучше высоких: так, например, звук частотой 50 Гц вызовет болевое ощущение при уровне его давления 130 дБ, а частотой 2000 Гц – при 112 дБ.

Единица *громкости* звука – *сон* (англ. sone). На рисунке 3.4 показана взаимосвязь *уровней громкости* звука в фонах с его *громкостью* в сонах. В основе данной шкалы лежит тот факт, что увеличение уровня звука на 10 фонов чаще всего воспринимается как удвоение громкости. Согласно шкале сонов, звук в 1 сон определяется как звук, громкость которого равна 40 фонам.

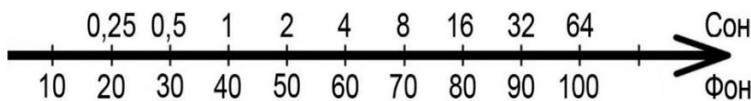


Рисунок 3.4. – Сравнительная шкала сонов и фонов

Диапазон длин звуковых волн – от сантиметров до десятков метров. Так, длина волны частотой 20 Гц в воздухе составляет приблизительно 17 м, а частотой 10 000 Гц – 34 мм. Поэтому распространение звуковых волн имеет весьма сложный характер.

Когда звуковая волна встречается с преградой, которая существенно больше длины волны, происходит отражение последней. Если длина волны существенно больше преграды, происходит *дифракция*, т. е. волна огибает преграду. Когда длина волны и размеры преграды сопоставимы, распространение звука становится сложнее, т. к. наблюдаются и отражение, и дифракция. Описанное распространение звуковых волн характерно и для интерьерной среды.

Теперь рассмотрим ограждающую конструкцию здания в виде сплошной стены, на поверхность которой под углом α относительно нормали к этой поверхности падает звуковая волна интенсивностью $I_{пад}$ (рисунок 3.5). Под тем же углом α волна интенсивностью $I_{отр}$

отражается от той же поверхности. Одновременно часть попавшей внутрь стены волны интенсивностью $I_{\text{погл}}$ этой стеной поглощается, а часть интенсивностью $I_{\text{пр}}$ через нее проходит. В результате поглощения часть звуковой энергии необратимо переходит в тепловую.

- 1 – стена;
 2 – падающая на стену звуковая волна;
 3 – отраженная звуковая волна;
 4 – поглощенная стеной звуковая волна;
 5 – прошедшая через стену звуковая волна

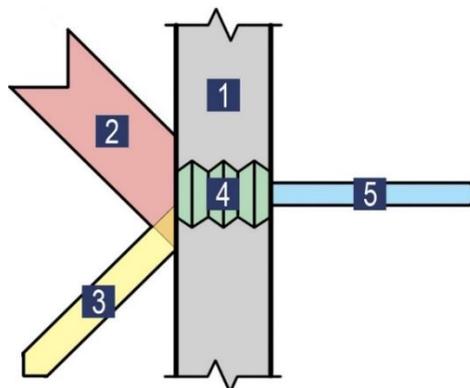


Рисунок 3.5. – Упрощенная схема воздействия звука на сплошную стену

Акустические свойства рассматриваемой сплошной стены характеризуются следующими коэффициентами:

- 1) $\alpha = I_{\text{погл}} / I_{\text{пад}}$ – коэффициент звукопоглощения;
- 2) $\beta = I_{\text{отр}} / I_{\text{пад}}$ – коэффициент звукоотражения;
- 3) $\gamma = I_{\text{пад}} / I_{\text{пр}}$ – коэффициент звукоизоляции;
- 4) $\tau = I_{\text{пр}} / I_{\text{пад}}$ – коэффициент звукопроводности;
- 5) $\delta = (I_{\text{пад}} - I_{\text{погл}} - I_{\text{пр}}) / I_{\text{пад}}$ – коэффициент рассеяния.

Коэффициент звукопоглощения α обратно пропорционален длине волны в квадрате или прямо пропорционален частоте звука в квадрате. Звуки высоких тонов поглощаются намного сильнее, чем низких. Примечательно и то, что материалы с открытыми порами поглощают звуковые волны эффективнее материалов с закрытыми порами. Поэтому, например, минеральная вата на основе стекловолокна широко используется как звукоизоляционный материал в конструкциях каркасных перегородок.

Коэффициент звукоизоляции R_W демонстрирует способность преграды (ограждающей конструкции) уменьшить проходящий через нее звук. Этот коэффициент, выраженный в децибелах, называется *изоляцией воздушного шума* ограждающей конструкцией, или *звукоизоляцией*, и вычисляется по формуле:

$$R_W = 10 \lg(1/\tau).$$

Например, если ориентировочный *индекс звукоизоляции стены* составляет 50 дБ, это говорит о том, что интенсивность звука при прохождении через нее снижается в 100 000.

Пример решения задачи по определению величины показателя изоляции воздушного шума

Дано: коэффициент звукопроницаемости на некоторой частоте составляет:

- а) для бетонной стены толщиной 160 мм – 0,000003;
- б) для сплошной перегородки толщиной 30 мм из сосновых досок – 0,065.

Требуется: вычислить величину показателя изоляции воздушного шума в каждом из двух случаев.

Решение:

- а) $R = 10 \lg 1 / (3 \cdot 10^{-6}) = 55$ дБ;
- б) $R = 10 \lg 1 / 0,065 = 12$ дБ.

3.2. Звукоизоляция ограждающих конструкций

Любой звук, который проникает в помещение из другого помещения, а также из внешней среды, условно называют **шумом**.

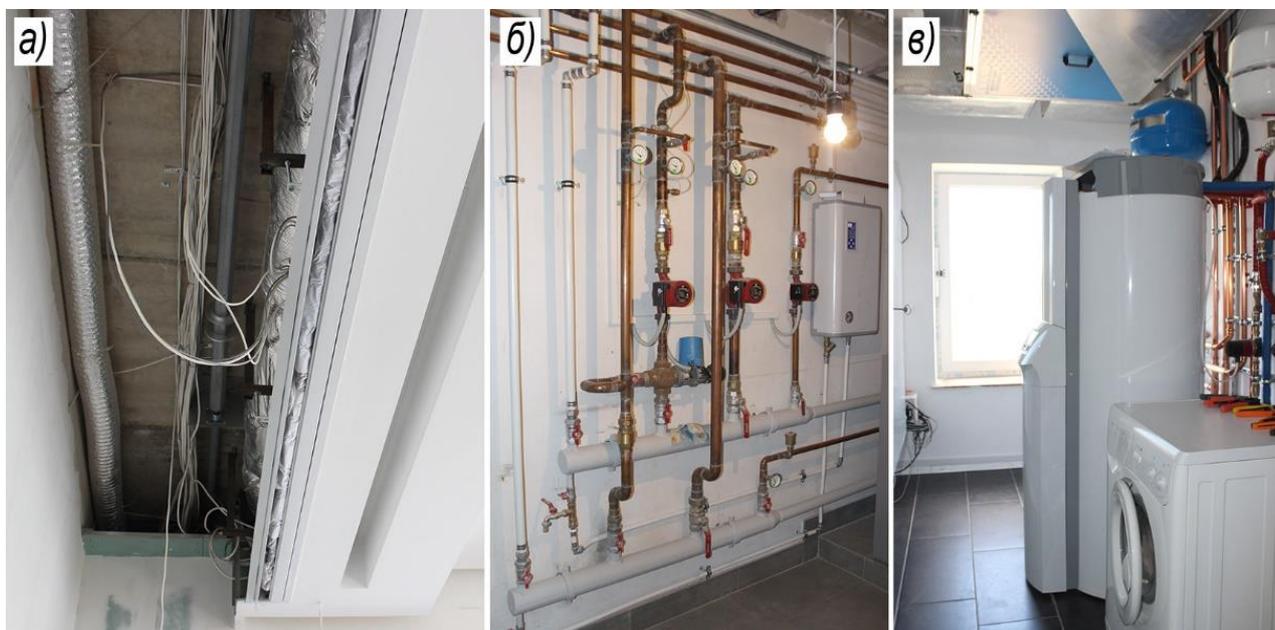
Шум часто подразделяют на *воздушный* и *корпусной (структурный)*. Частным случаем корпусного является *ударный шум*.

Воздушный шум – это звуковые волны в форме колебаний воздуха (его источниками являются, например, разговор, пение, домашний кинотеатр). Такие волны, возникшие в одном помещении, передают стене или перекрытию изгибные колебания, заставляющие колебаться частицы воздуха за указанными конструкциями. В результате этого в другом, соседнем, помещении тоже возникает воздушный шум. Иначе говоря, воздушный шум имеет место, когда колеблющееся тело, не связанное ни с какой конструкцией, излучает звук в воздух.

Корпусной шум возникает, например, при передаче колебаний от ротора на корпус электродвигателя, прикрепленного к перекрытию здания. В результате этого через перекрытие и другие связанные с ним конструкции по зданию распространяется **структурный шум**. Но в принципе корпусом, помимо прочего, логично считать и несущий остов здания со взаимодействующими с ним самонесущими и ненесущими конструкциями, а также каждый находящийся в здании трубопровод. Поэтому в практических целях во многих случаях можно отождествлять корпусной и структурный шум.

Корпусной (структурный) шум передается в твердой или жидкой среде. Пример первой – соединенные между собой крупные панели и плиты многоквартирного жилого дома; пример второй – поток воды в трубе системы внутреннего холодного или горячего водоснабжения в упомянутом выше доме. Некоторые из других его распространенных источников – вентиляторы, насосы, трубопроводы внутренней канализации, крышные антенны, лифты.

Отдельные примеры источников корпусного шума показаны на рисунке 3.6.



а – воздуховод и механизм домашнего кинотеатра в реконструированном индивидуальном жилом доме; *б* – трубопроводы в техническом помещении усадебного жилого дома; *в* – отопительный котел и другое инженерное оборудование в техническом помещении высокоэнергоэффективного коттеджа

Рисунок 3.6. – Источники корпусного шума

Ударный шум, являясь частным случаем корпусного шума, передается в твердой среде, например в железобетоне. Изоляция ударного шума чрезвычайно важна в случае междуэтажных перекрытий. Так, ходьба по полу в обуви на жесткой подошве или падение на него какого-

нибудь тяжелого и твердого предмета (и то, и другое – источники ударного шума) способны вызвать в помещении под перекрытием шум, который намного сильнее шума от громкого разговора и даже крика (и то, и другое – источники воздушного шума).

Следует также различать *прямую* и *косвенную звукопередачу*. Прямая имеет место, когда звук передается напрямую через ограждающую конструкцию, которая разделяет помещения. В случае косвенной звук передается по примыкающим к ней конструкциям.

В нормах СН 2.04.01-2020 «Защита от шума» указаны три вида шума – *воздушный*, *ударный* и *проникающий*. В случае последнего имеется в виду, что он проникает в данное помещение извне через ограждающие конструкции, системы вентиляции, кондиционирования воздуха, водоснабжения и отопления. Значит, проникающий шум – это по существу корпусной шум.

Все упомянутые выше виды шума воспринимаются ухом человека как воздушный шум.

Защита от шума, если судить о ней в общем смысле, осуществляется путем, во-первых, *изоляция шума в самом его источнике или вблизи него*, во-вторых, *звукопоглощения* и, в-третьих, *звукоизоляции*.

Первый путь самый эффективный, но не всегда реализуемый. Например, нельзя заставить человека говорить только тихо, пользоваться исключительно ручным кухонным инструментом и убирать квартиру без пылесоса. В то же время можно заменить уплотнительное кольцо или подшипник посудомоечной машины, надежно закрепить кожух электродвигателя вентилятора, устранить скрежет лифта и т. д.

Звукопоглощение означает противодействие элементов предметно-пространственной среды (это главным образом стены, перегородки, полы, потолки, мебель) отражению падающих на них звуковых волн, при этом, как уже сказано выше, поглощаемая указанными элементами звуковая энергия преобразуется в тепловую. В отношении звукопоглощения очень важна отделка ограждающих помещений конструкцией.

Звукоизоляция – это снижение уровня звука, который проникает сквозь ограждающую конструкцию в соседнее помещение. Чем больше звуковой энергии отражает такая конструкция, тем лучшей звукоизоляционной способностью она обладает.

С точки зрения нормативного подхода **защита от шума** в помещениях жилых и общественных зданий *обеспечивается за счет*:

- архитектурно-планировочных решений зданий, гарантирующих постоянный акустический комфорт в помещениях;
- ограждающих конструкций зданий, отвечающих требованиям по звукоизоляции;
- звукопоглощающей отделки в помещениях;
- средств снижения уровней шума и виброизоляции инженерного оборудования.

Акустический расчет заключается в определении:

- источников шума и их шумовых характеристик;
- расчетных точек в помещениях, для которых проводится акустический расчет;
- допустимых уровней шума в расчетных точках;
- путей распространения шума от его источников до расчетных точек;
- ожидаемых уровней шума в расчетных точках до выполнения действий по улучшению акустической ситуации, в т. ч. на пути распространения шума;
- требуемого снижения уровней шума в расчетных точках в ходе сравнения ожидаемых уровней шума с допустимыми;
- действий по улучшению акустической ситуации, если это необходимо;
- ожидаемых уровней шума в расчетных точках с учетом действий по улучшению акустической ситуации.

На рисунке 3.7 показана защита от шума коридора одной из гостиниц в г. Франкфурте-на-Майне (Германия) за счет его архитектурно-планировочного решения и звукопоглощающих ковров.

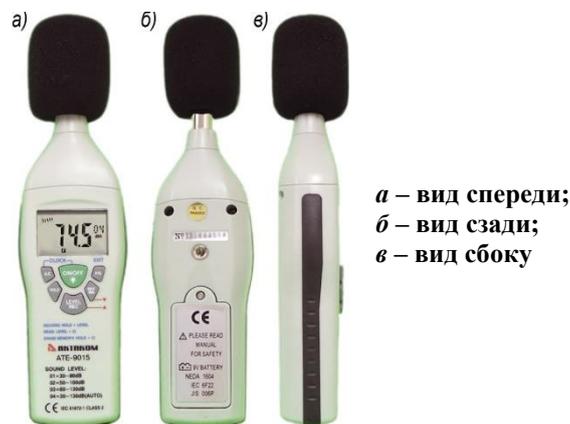


Рисунок 3.7. – Защита от шума гостиничного коридора за счет его архитектурно-планировочного решения и звукопоглощающих ковров

По нормам СН 2.04.01-2020 «Защита от шума» акустический расчет в расчетных точках для постоянного шума производят по уровням звукового давления L (в дБ) в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц и по уровню звука L_A (в дБА), а для непостоянного шума – по эквивалентному уровню звука $L_{A, экв}$ (в дБА) и максимальному уровню звука $L_{A, макс}$ (в дБА).

Единица измерения **дБА** означает, что численное значение показателя в децибелах скорректировано по *шкале А шумомера*. Такие корректировки делаются потому, что, как отмечено выше, ухо человека менее чувствительно к звуку на низких частотах (в особенности на частотах ниже 1000 Гц), нежели на высоких частотах.

Пример *шумомера* (портативный интегрирующий измеритель уровня звука) – шумомер АТЕ-9015 (рисунок 3.8). Он предназначен для измерения уровня шума по двум шкалам – А и С. Диапазон измерения звука 30–130 дБ в полосе частот 31,5–8000 Гц. Амплитудно-частотная характеристика типа А (шкала А соответствует кривой громкости 40 фон) моделирует субъективное восприятие звука человеческим ухом, а потому имеет существенное значение с точки зрения гигиенической практики оценки шумов. С помощью шкалы С получают спектр шума; прямолинейная амплитудно-частотная характеристика типа С в диапазоне 60–5000 Гц показывает истинно физическую величину – уровень звукового давления. Что касается шкалы В, имеющейся в других шумомерах, она соответствует кривой равной громкости 70 фон. Для нормирования шума применяются только шкалы А и С (см. рисунок 3.3).



**а – вид спереди;
б – вид сзади;
в – вид сбоку**

Рисунок 3.8. – Шумомер АТЕ-9015

По нормам СН 2.04.01-2020 «Защита от шума» нормируемыми параметрами **непостоянного шума** являются, например, эквивалентные уровни звука и максимальные уровни звука. Превышение одного из этих уровней означает несоответствие требованиям к допустимому уровню шума.

Нормативные требования к допустимому уровню проникающего шума в помещения зданий устанавливаются для следующих категорий условий проживания и работы:

- **А** – *высококомфортные условия*;
- **Б** – *комфортные условия*;
- **В** – *условия, соответствующие законодательству в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения*.

Это категории можно назвать также **категориями комфорта** зданий.

В таблице 3 приведены некоторые нормируемые уровни непостоянного шума, относящиеся к *жилым помещениям жилых зданий*, из СН 2.04.01-2020 «Защита от шума».

Таблица 3. – Некоторые нормируемые уровни непостоянного шума для жилых помещений жилых зданий

Категории комфорта	Время суток, ч	Эквивалентные уровни звука $L_{A, экв}$, дБА	Максимальные уровни звука $L_{A, макс}$, дБА
А	7.00–23.00	35	50
	23.00–7.00	25	40
Б и В	7.00–23.00	40	55
	23.00–7.00	30	45

По нормам СН 2.04.01-2020 «Защита от шума» для оценки звукоизолирующей способности ограждающих конструкций измеренное или рассчитанное значение звукоизоляции следует сравнить с нормативными требованиями.

Нормативные требования к звукоизоляции конструкций предъявляются в третьоктавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 и 3150 Гц.

Нормируются следующие показатели звукоизоляции:

- **индекс изоляции воздушного шума конструкции**, например перегородки, дБ;
- **индекс приведенного уровня ударного шума L_{nW}** , дБ (для перекрытий);
- **звукоизоляция наружных ограждающих конструкций** (в т. ч. светопрозрачных)

$R_{A, тран}$, дБА.

Индекс изоляции воздушного шума конструкции определяют методом сравнения рассчитанной или измеренной частотной характеристики изоляции воздушного шума с оценочной кривой. Подобным образом определяют также **индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием**.

В таблице 4 приведены некоторые нормативные значения индексов изоляции воздушного шума ограждающих конструкций и индексов приведенного уровня ударного шума под перекрытием, относящиеся к жилым помещениям жилых зданий, из СН 2.04.01-2020 «Защита от шума».

Таблица 4. – Некоторые нормативные значения индексов (воздушный и ударный шум) для жилых зданий

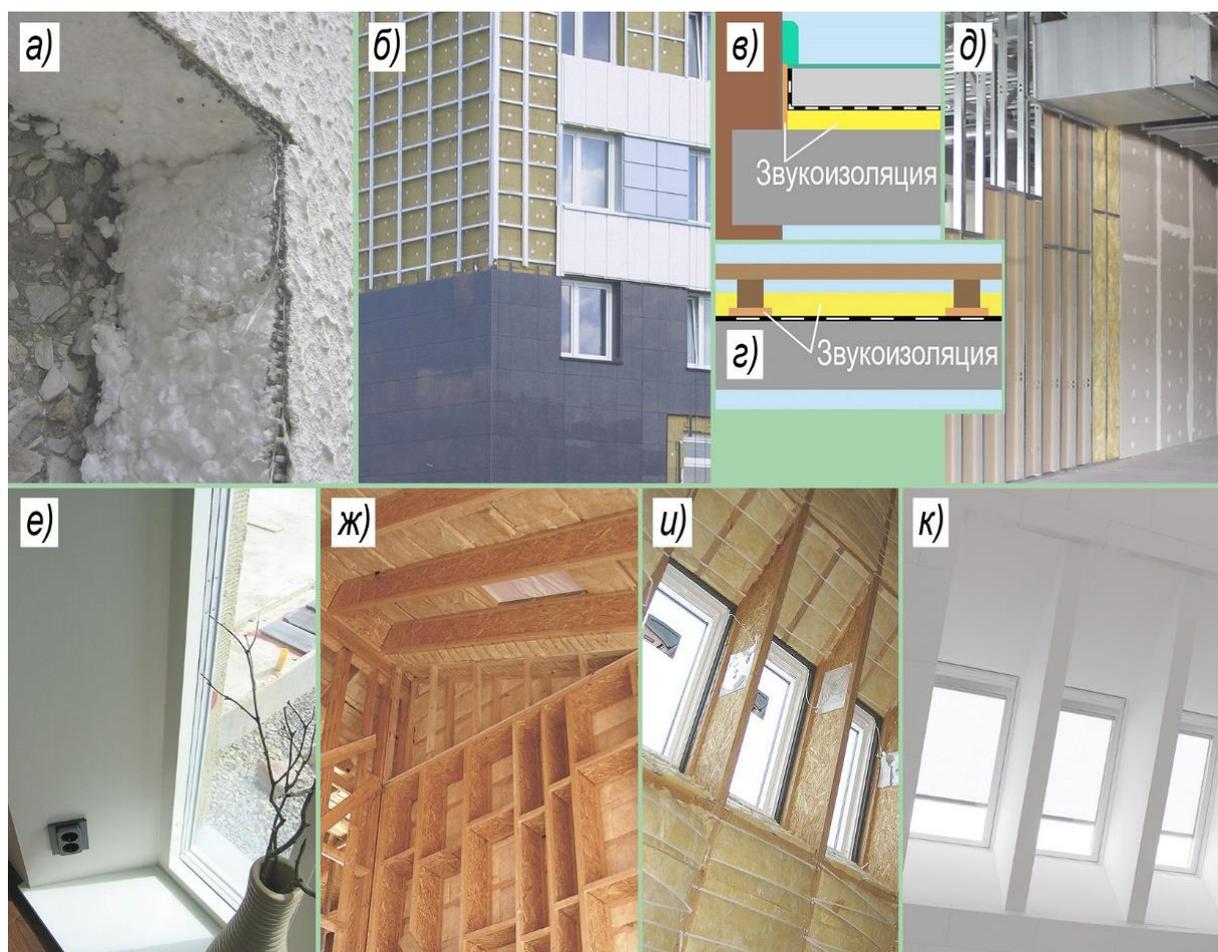
Конструкции, категории комфорта	Индекс изоляции воздушного шума $R_{W, норм}$, дБ	Индекс приведенного уровня ударного шума $L_{nW, норм}$, дБ
Перекрытия между комнатами в двухуровневой квартире		
А	47	63
Б	45	66
В	43	68

Современные здания возводятся преимущественно с *немассивными ограждающими конструкциями*. В их случае сложнее добиться надлежащей звукоизоляции по сравнению с их массивными вариантами типа, например, однослойной кирпичной внутренней стены толщиной 380 мм (без учета штукатурки). Ведь чем больше масса ограждения, тем лучше ее звукоизолирующая способность.

Вместе с тем *облегченные и легкие ограждающие конструкции* обладают высокими звукоизоляционными качествами, когда они, например, из ячеистого бетона, слоистые или раздельного типа. При этом многие из них изготавливаются с использованием *эффективных звукоизоляционных материалов*: шумоизоляционного гипсокартона, минераловатных плит, стекловолокнутого холста, панелей с демпфирующим пластиком и т. д.

Примеры ограждающих конструкций с высокой звукоизолирующей способностью:

- наружная слоистая стена с легкой штукатурной системой утепления (рисунок 3.9, а);
- наружная слоистая стена с вентилируемой системой утепления (рисунок 3.9, б);
- плавающий (слоистый) пол на упругом звукоизоляционном основании (рисунок 3.9, в);
- пол раздельного типа с улучшенной звукоизоляцией (рисунок 3.9, г);
- сборно-разборная перегородка на легком металлическом каркасе (рисунок 3.9, д);
- окно с двухкамерным стеклопакетом или двухкамерными стеклопакетами (рисунок 3.9, е);
- мансардная кровля (рисунок 3.9, ж–к).



а – наружная слоистая стена с легкой штукатурной системой утепления; **б** – наружная слоистая стена с вентилируемой системой утепления; **в** – плавающий пол на упругом звукоизоляционном основании; **г** – пол раздельного типа с улучшенной звукоизоляцией; **д** – сборно-разборная перегородка на легком металлическом каркасе; **е** – окно с двухкамерным стеклопакетом; **ж–к** – этапы устройства мансардной крыши

Рисунок 3.9. – Ограждающие конструкции с высокой звукоизолирующей способностью

Отдельные важные замечания:

- в случае сборно-разборных перегородок между их обшивками из гипсокартонных или гипсоволокнистых плит находится материал с высоким коэффициентом звукопоглощения, например плиты из минеральной ваты; причем чем толще слой из них, тем сильнее эффект звукопоглощения;
- сплошное однослойное монолитное железобетонное перекрытие и перекрытие из сборных железобетонных плит одинаково изолируют воздушный шум, если имеют равную поверхностную массу;
- для достижения достаточной изоляции воздушного шума перекрытием по деревянным балкам следует, например, между ними разместить эффективный звукоизолирующий материал, а над ними смонтировать плавающий пол;
- требования по изоляции ударного шума можно выдержать за счет таких конструктивных решений, как мягкое напольное покрытие (пример – линолеум на теплозвукоизолирующей основе) или (и) плавающий пол; но эти решения хороши лишь в тех случаях, когда несущая конструкция перекрытия отвечает требованиям по изоляции воздушного шума, обладая надлежащей массивностью; обычно такой конструкцией бывают сплошные однослойные железобетонные плиты.
- эффективно функционирующий плавающий пол должен иметь как можно более тяжелую стяжку (например, из цементно-песчаного раствора) и как можно более мягкий слой из упругого материала (например, из минеральной ваты); при этом нельзя допустить, чтобы стяжка контактировала не только с несущей конструкцией перекрытия, но также со стенами и колоннами.

3.3. Время реверберации

Реверберация – это явление постепенного снижения интенсивности звука в случае его многократных отражений (рисунок 3.10). Значительное влияние реверберации на акустические свойства помещений, особенно зального типа, объясняет, в частности, формула по определению уровня звукового давления для точечного источника звука с известной реализуемой мощностью:

$$L_p = L_w + 10 \lg(1/4\pi r^2 + 4(1 - \alpha_{\text{ср}})/A),$$

- где L_p – уровень звукового давления на расстоянии r , дБ;
 L_w – уровень звуковой мощности точечного источника звука, дБ;
 r – расстояние, м;
 $\alpha_{\text{ср}}$ – средний коэффициент звукопоглощения поверхностей помещения;
 A – эквивалентная площадь звукопоглощения помещения, м².

Первое слагаемое под знаком логарифма, $1/4\pi r^2$, описывает уровень звукового давления в **поле прямого звука**, второе, $4(1 - \alpha_{\text{ср}})/A$, – уровень звукового давления в **реверберационном звуковом поле**.

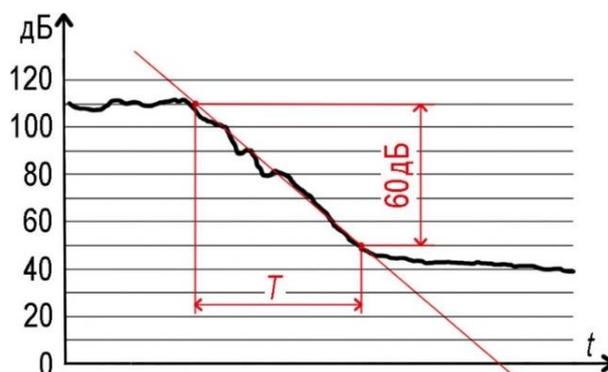


Рисунок 3.10. – Определение времени реверберации с помощью кривой затухания

Уместно заметить: при удвоении расстояния от точечного источника звука происходит снижение уровня звукового давления прямого звука на 6 дБ, а от линейного (например, шума едущих по прямой дороге автомобилей) – на 3 дБ.

Хорошо понять, что такое *время реверберации*, можно на основании следующего объяснения. Если в помещении включают источник звука, после чего он устойчиво работает, интенсивность звукового поля растёт или, иными словами, помещение словно бы наполняется звуком. Так происходит, пока интенсивность поглощения звуковой энергии не станет равной интенсивности подводимой звуковой энергии. В этот момент наступает энергетическое равновесие – звуковое поле приобретает устойчивость. После того как источник звука выключают, в течение некоторого непродолжительного времени сохраняется постепенно затухающее реверберационное звуковое поле. *А то время, за которое интенсивность звука уменьшается в 10^6 раз, т. е. уровень звукового давления становится меньше на 60 дБ, и называют временем реверберации.*

Его продолжительность обуславливается размерами помещения и свойствами поверхностей обращенных к нему ограждающих конструкций – поверхности помещения. Чем выше у этих поверхностей отражательная способность, тем меньше звуковой энергии теряется при отражении от них звука и тем дольше длится его затухание. С увеличением размеров помещения продолжительность затухания тоже возрастает, т. к. скорость звука в наших построениях – величина постоянная.

Время реверберации можно вычислить, используя формулу, которая довольно точна в случае помещений не самых больших размеров со средними показателями звукопоглощения:

$$T = 0,163V / A,$$

где T – время реверберации, с;

V – объем помещения, м³;

A – эквивалентная площадь звукопоглощения поверхности, м².

Эквивалентная площадь звукопоглощения поверхности, или *звукопоглощающая способность* поверхности, определяется так:

$$A = S\alpha,$$

где S – площадь поверхности, м²,

α – коэффициент звукопоглощения поверхности.

Звукопоглощающую способность помещения можно вычислить следующим образом:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 + \dots + S_n\alpha_n = \sum(S_n\alpha_n) = S\alpha_{\text{ср}},$$

где A – общая звукопоглощающая способность помещения, м²;

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – звукопоглощающая способность соответственно 1-й, 2-й, 3-й, ..., n -й поверхности, м²;

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ – площадь соответственно 1-й, 2-й, 3-й, ... n -й поверхности, м²;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ – коэффициент звукопоглощения соответственно 1-й, 2-й, 3-й, ... n -й поверхности;

S_n – площадь n -й поверхности, м²;

α_n – коэффициент звукопоглощения n -й поверхности, м²;

$\alpha_{\text{ср}}$ – средний коэффициент звукопоглощения помещения;

S – общая площадь помещения, м².

Пример решения задачи по определению коэффициента звукопоглощения

Дано: предполагается, что длина, ширина и высота проектируемой аудитории с подвесным потолком составят соответственно 10, 6 и 3 м; время реверберации, которое должно быть достигнуто только за счет упомянутого потолка, не должно превышать в аудитории 0,8 с.

Требуется: определить коэффициент звукопоглощения подвесного потолка.

Решение:

$$A = 0,16(V / T) = 0,16(180 / 0,8) = 36 \text{ м}^2; \quad \alpha = A / S = 36 / 60 = 0,6.$$

3.4. Акустика залов. Геометрическая акустика

Под *залами* в этом разделе понимаются большие помещения, обеспечивающие благоприятные акустические условия для прослушивания естественной (*без электрзвукоусиления*) речи, пения или (и) музыки. Это, например, большие гостиные, лектории, конференц-залы (рисунок 3.11), театральные и концертные залы.



Рисунок 3.11. – Конференц-зал в бизнес-центре «Виктория», г. Минск

Для того чтобы в залах, как, впрочем, и в других помещениях разных размеров, имели место указанные акустические условия, в них должно быть обеспечено следующее:

- сравнительно слабый фоновый шум и достаточно громкие, чтобы быть слышимыми, разборчивыми и свободными от помех, необходимые звуки;
- диффузное (равномерно распределенное) и свободное от зон (точек) пониженной и повышенной громкости звуковое поле;
- отсутствие акустических искажений: эха, многократных отражений звука, стоячих волн и др.;
- соответствие времени реверберации назначению помещения и сбалансированность этого времени во всем диапазоне слышимых частот.

В общем смысле *акустическое проектирование залов* включает в себя определение, во-первых, их размеров и формы и, во-вторых, мест размещения трех так называемых *улучшителей звука: отражателей, диффузоров и поглотителей*.

Отражатели звука, или звукоотражатели, – это материалы, изделия или конструкции, поверхность которых имеет высокий коэффициент отражения звука и достаточные размеры относительно длины волны отражаемого звука (рисунок 3.12). Они нужны для «умного» отражения звуковых волн, так чтобы они концентрировались в определенных точках, давая качественный живой звук. Но это, как правило, неприемлемо в небольших помещениях. Хорошо отражают звук, в частности, древесина, гипсокартон, металл.

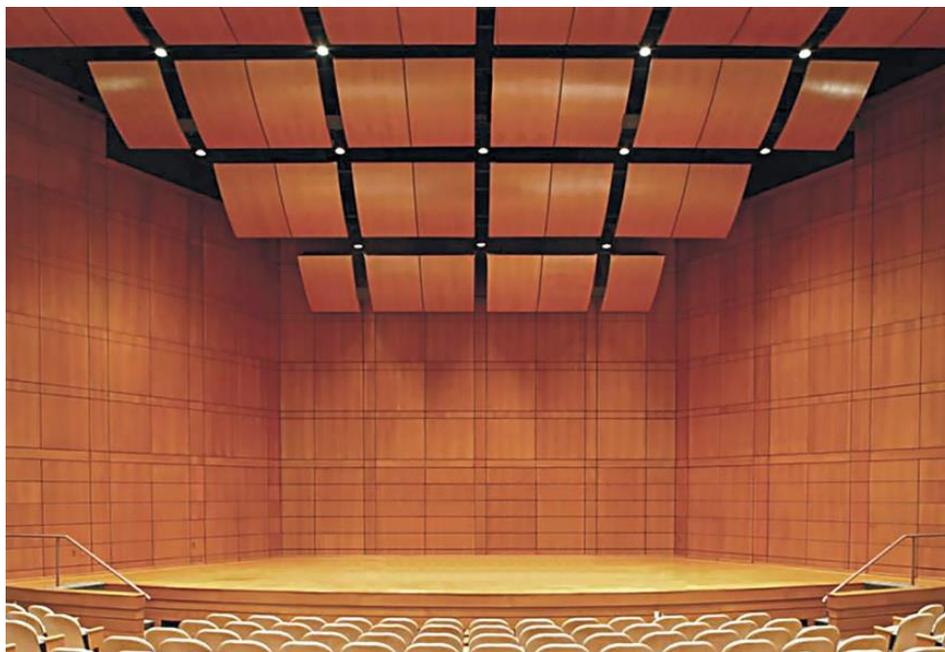
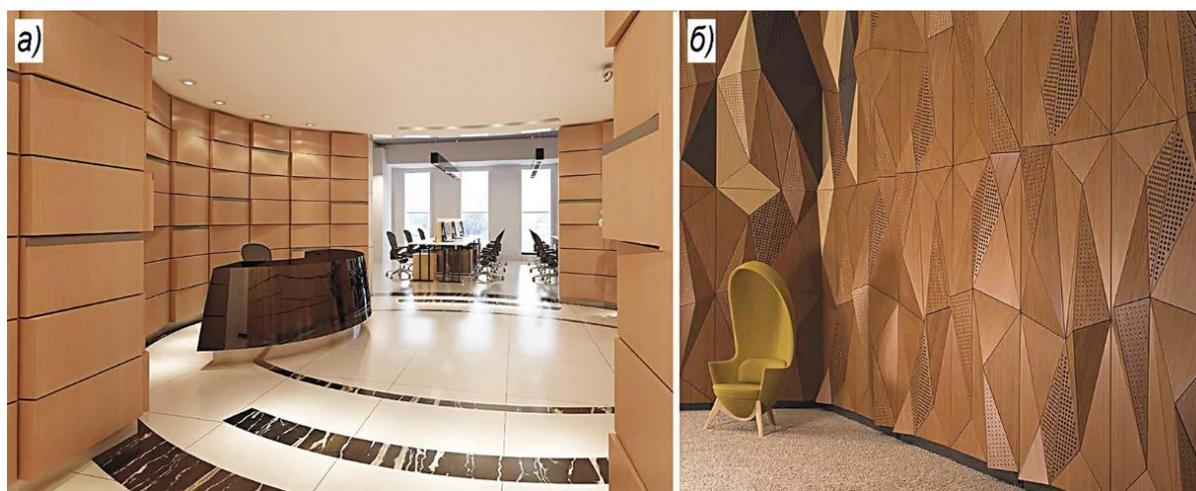


Рисунок 3.12. – Отражатели звука над сценой, предназначенной для выступления музыкантов

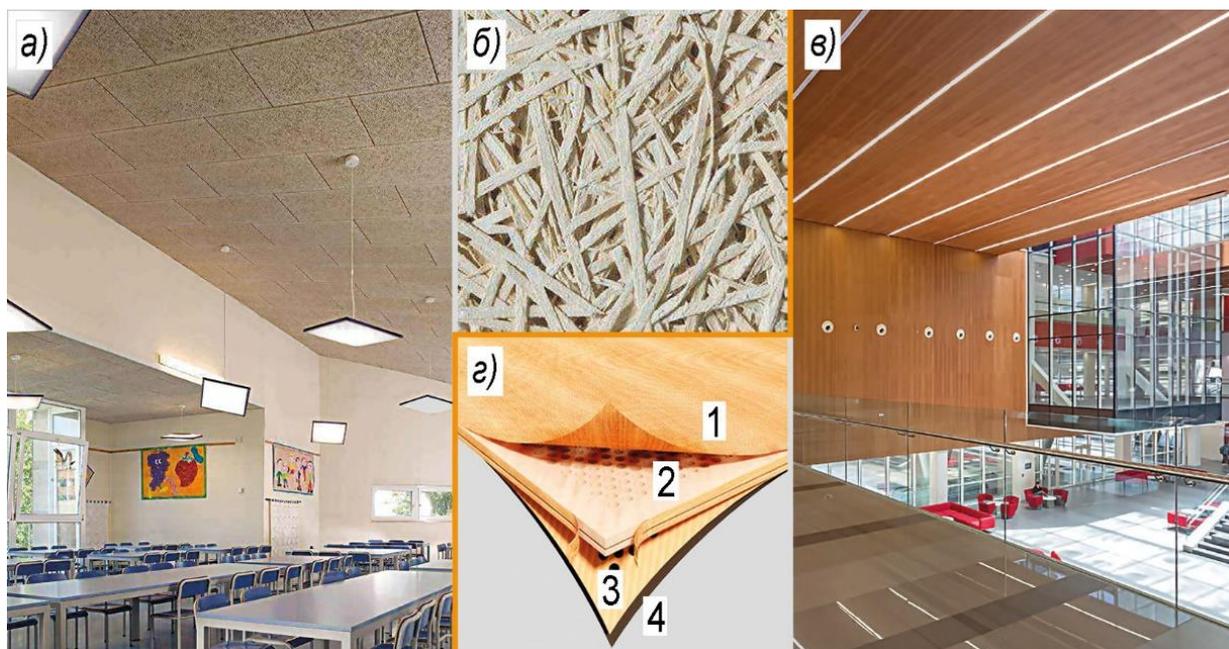
Диффузоры звука – отражатели звука, предназначенные для создания диффузного звукового поля в результате рассеянного отражения звука; они эффективны, если их размер больше длины звуковой волны (рисунок 3.13).



a – панели FPLA; *б* – панели GETA

Рисунок 3.13. – Диффузоры звука из деревянных панелей производства компании «Микодам» (англ. Mikodam; фото Mikodam)

Поглотители звука – материалы, изделия или конструкции, в которые проникает часть падающей на них звуковой энергии, переходя в тепловую энергию; применяются *пористые* и *механические* звукопоглотители, последние называются также *резонаторами* (рисунок 3.14).



а – из звукопоглощающих фибролитовых декоративных панелей производства компании «Селенит» (ит. Celenit; фото Celenit) на потолке; **б** – вид поверхности панели CELENIT (фото Celenit); **в** – из звукопоглощающих нано-перфорированных панелей производства компании «Хантер Дуглас Архитектурал» (англ. Hunter Douglas Architectural; фото Hunter Douglas Architectural) на стенах и потолке; **г** – структура нано-перфорированных панелей (рисунок Hunter Douglas Architectural); **1** – древесный шпон с наноперфорацией; **2** – сердечник из МДФ; **3** – древесный шпон; **4** – акустическая ткань

Рисунок 3.14. – Звукопоглотители

Если объем помещения не превышает 300 м^3 (пример – лекционная аудитория, имеющая длину, ширину и высоту соответственно 14, 7 и 3 м), придавать ему особую акустическую форму, как правило, не нужно. В зале же должно происходить усиление *прямого звука отраженным* звуком.

Прямой звук определяет представление слушателя о расположении источника звука, зрительная связь с которым главным образом обеспечивает ясность и разборчивость речи или (и) музыки. Можно считать, что максимальный радиус действия такого звука примерно 10 м для речи, 12 м для музыки и 11 м для речи и музыки. Т. к. скорость звука в воздухе 340 м/с, расстояние в 10 м он преодолевает за 30 мс (0,030 с), расстояние в 12 м – за 35 мс, расстояние в 11 м – за 32 мс.

Отраженный звук по качеству звучания мало уступает прямому звуку, если отражение произошло только один раз. Но если разница в приходе прямого и отраженного звука превышает 50 мс, слушатель, скорее всего, различит их как отдельные звуки. Поэтому логично, чтобы **время запаздывания** отраженного звука не было больше 25 мс (путь звука 8,5 м) для речи, 35 мс (путь звука 11,9 м) для музыки и 30 мс (путь звука 10,2 м) для речи и музыки. При этом с точки зрения восприятия музыки более важным является его отражение от боковых стен, а не от потолка.

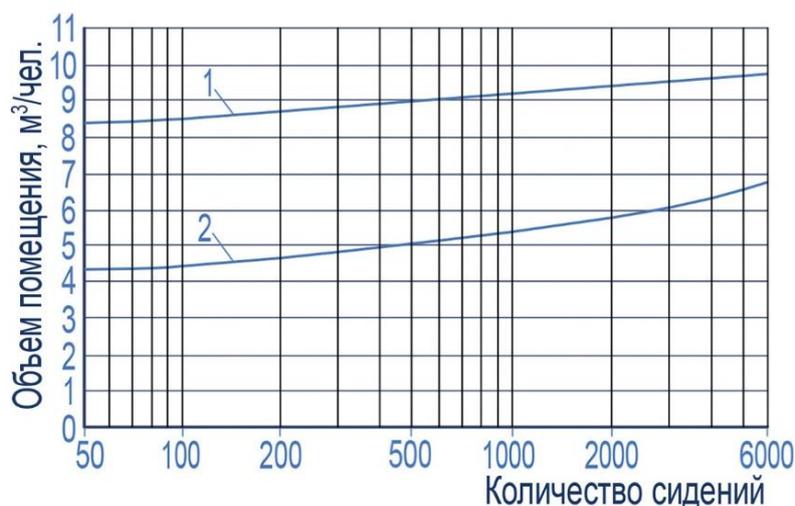
Максимальный объем зала с естественной акустикой составляет порядка $18\,000 \text{ м}^3$ для «разговорного жанра» (театр драмы, например) и $30\,000 \text{ м}^3$ для «музыкального жанра» (оперный театр, например), а его пропорции, которые в данном расчетном случае можно считать условно оптимальными, описываются следующими неравенствами:

$$1 \leq L/B \leq 2 \text{ и } 1 \leq B/H \leq 2,$$

где L – длина зала по его центральной оси;
 B – среднее значение ширины зала, м;
 H – среднее значение высоты зала, м;

В неравенствах даются именно средние значения ширины и высоты, т. к. форма зала часто отличается от формы такой геометрической фигуры, как прямоугольный параллелепипед.

Объем зала можно определить исходя из его минимально возможного удельного объема, приходящегося на одного слушателя (рисунок 3.15). В случае превышения удельного, а значит, и общего объема зала понадобятся дополнительные отражатели и поглотители звука.



1 – для прослушивания музыки; 2 – для прослушивания речи

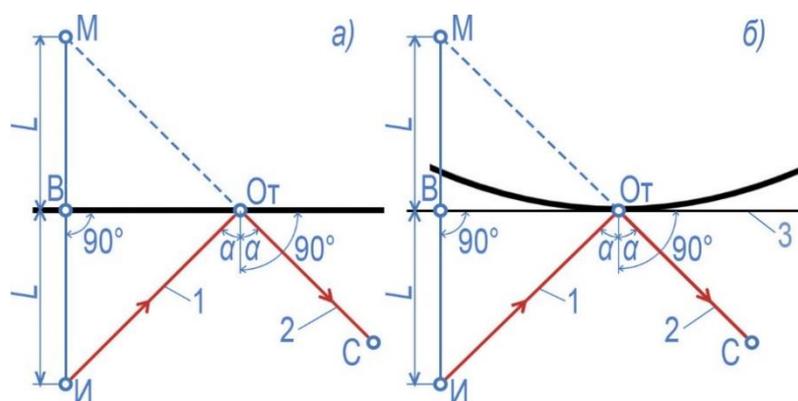
Рисунок 3.15. – Минимально возможные удельные объемы зрительных залов

По нормам СН 2.04.01-2020 «Защита от шума», удельный воздушный объем на одно зрительское место и максимальная длина залов должны составлять в конференц-залах и залах драматических театров соответственно 4–5 м³ и 24–25 м, в залах многоцелевого акустического назначения со сценической коробкой (от задней стены до занавеса) – 4–6 м³ и 24–26 м, в залах театров оперетты – 5–7 м³ и 28–29 м, в залах театров оперы и балета – 6–8 м³ и 30–32 м, в концертных залах симфонической музыки – 8–10 м³ и 42–46 м. Максимальную среднюю высоту зала можно вычислить по первому неравенству (см. выше), зная максимальную длину зала. При этом желательно, чтобы средняя высота зала не превышала 8–9 м.

Что касается формы залов, определять ее удобно, используя методы *геометрической акустики* – *лучевой метод* и *метод мнимых источников звука*. В их основе лежат аналогии с оптикой, ведь звук отражается подобно свету: *угол отражения равен углу падения*. При этом вместо прямых и отраженных звуковых волн рассматриваются *звуковые лучи*, идущие в направлении их распространения. С помощью геометрической акустики, довольно точно учитывающей форму залов, анализируются прежде всего *первые отражения*, или *отражения первого порядка*, от их поверхностей.

Примечательно, что обеспечение хорошей видимости в залах положительно сказывается на достижении в них хорошей слышимости. Так, из условий видимости следует обеспечивать последовательное и равномерное превышение рядов с местами для зрителей (они же слушатели) на 8–15 см (на балконе драматического театра, например, на 25–30 см) вдоль зала, в зависимости от особенностей каждого конкретного зала. Расстояние между рядами при этом не менее 90 см. Указанное превышение, которое для каждого ряда мест в зале сравнительно большой длины рассчитывается с учетом *кривой наименьшего подъема рядов*, влечет за собой и существенное улучшение слышимости для каждого зрителя. Если зал имеет сравнительно малую длину, превышение имеет постоянную величину и идет по *прямой подъема рядов*.

Метод мнимых источников звука применяется как в случае плоских (рисунок 3.16, а), так и кривых поверхностей (рисунок 3.16, б).



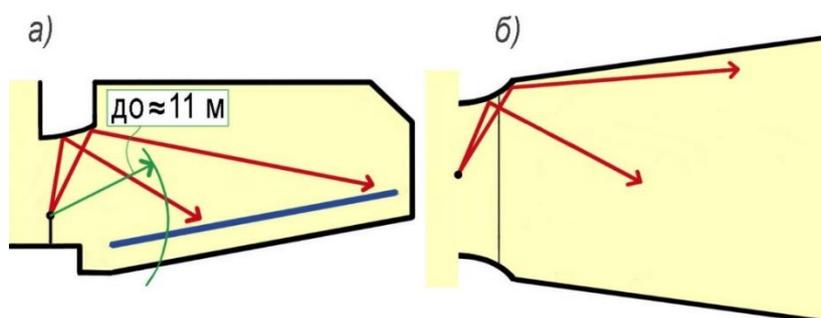
a – отражение от плоской поверхности; ***б*** – отражение от криволинейной поверхности;
1 – прямые звуковые лучи (прямой звук); ***2*** – отраженные звуковые лучи (отраженный звук);
3 – касательная плоскость; ***И*** – источник звука; ***М*** – мнимый источник звука;
От – точка геометрического отражения звука; ***С*** – слушатель; ***В*** – вспомогательная точка;
L – минимальное расстояние от источника звука и мнимого источника звука до плоской отражающей поверхности или касательной плоскости

Рисунок 3.16. – Построение отражения звукового луча от поверхности с помощью мнимого источника звука

Теперь о четырех важных моментах, без учета которых нельзя построить исходную форму зала, чтобы затем ее скорректировать с помощью *лучевого метода* и *метода мнимых источников звука*.

Первый момент. Залам в плане желательно придавать форму трапеции (у ее меньшего основания – сцена) с одинаковым углом раскрытия каждой боковой стены, равным хотя бы 3–4°. Так надо делать прежде всего потому, что между противоположными параллельными поверхностями создается *многократное эхо*, называемое *порхающим*. А *угловое эхо* сильно ослабнет, если в зале не будет прямых углов между его поверхностями.

Второй момент. В залах со сравнительно большой высотой и шириной поступление первых отражений звука от потолка и стен в первые ряды зрительских мест может происходить со значительным запаздыванием. Чтобы этого не случилось, на потолке и стенах у портала предусматриваются отражатели звука, направляющие отраженный звук вглубь зала (рисунок 3.17).



a – схема продольного разреза зала с потолочным звукоотражателем;
б – схема плана зала со стеновыми звукоотражателями;
наклонная синяя полоса – уровень ушей слушателей; зеленая дуга окружности радиусом до ≈ 11 м очерчивает границу зоны, в которой усиление звука не требуется

Рисунок 3.17. – Первые отражения звука от звукоотражателей в театральном зале

Третий момент. Если задняя стена зала примыкает к потолку под углом 90° и менее, велика вероятность возникновения еще одного вида *эха*, называемого «*театральным*», – очень позднего прихода к зрителям сзади (со спины), звука, отраженного от потолка и задней стены (рисунок 3.18, *a*). В связи с этим делают под наклоном или потолок у задней стены, или саму заднюю стену (рисунок 3.18, *б*).

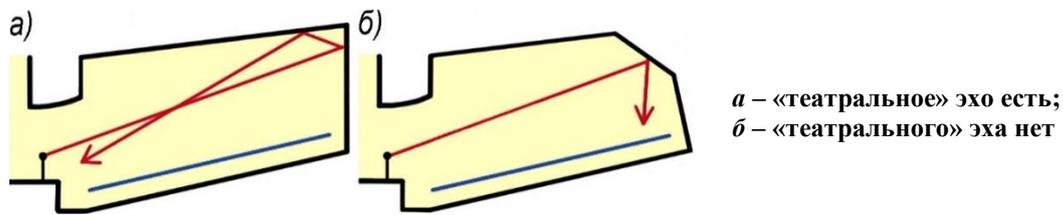


Рисунок 3.18. – Устранение «театрального» эха

Четвертый момент. В залах не должно быть *акустических теней*, которые имеют место, если на линии взгляда зрителя находится препятствие в виде, например, архитектурной конструкции. Ею бывает балкон в театральном зале, не пропускающий отраженный от потолка звук (рисунок 3.19). Но театральный балкон не является источником акустической тени, если он не сильно выдается в зал или потолок под ним служит отражателем звука.

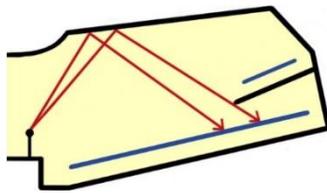
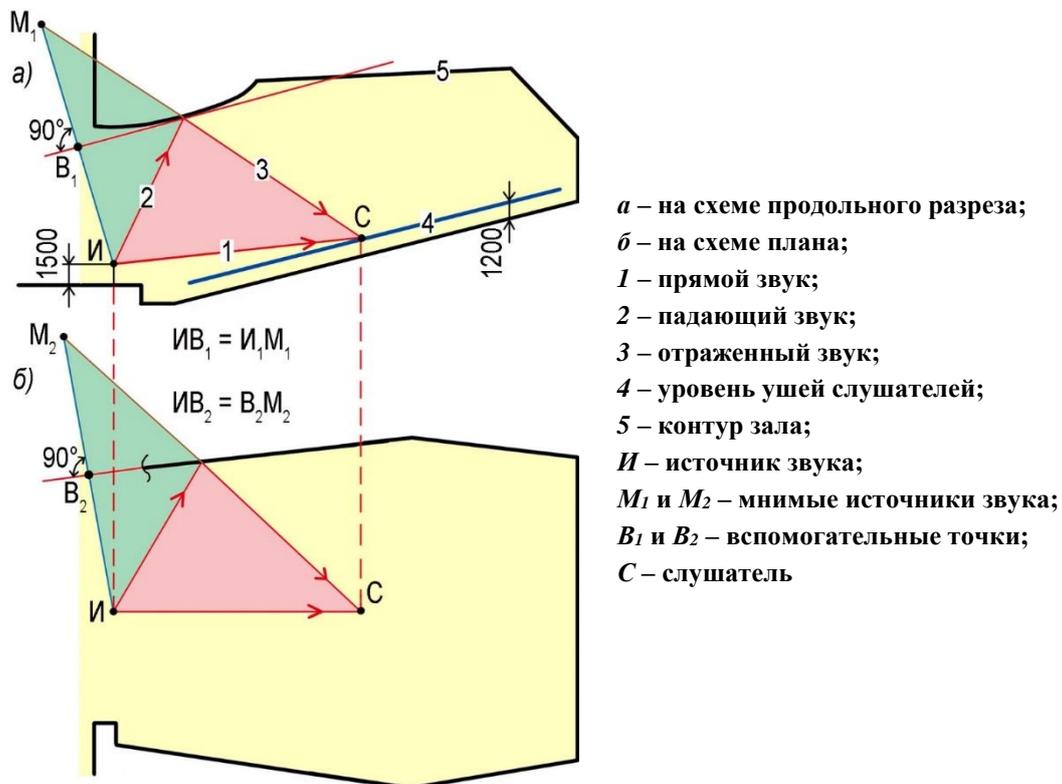


Рисунок 3.19. – Балкон в театральном зале, отбрасывающий акустическую тень

Если исходная форма зала выбрана, построение отражений звуковых лучей от потолка и боковой стены выполняется в принципе так, как показано на рисунке 3.20. Достаточно полные *лучевые эскизы* подобного рода (рисунок 3.21) позволяют в результате последовательных корректировок формы зала прийти к ее наилучшему геометрическому варианту. Уместно заметить, что метод мнимых источников звука работает, если отражатели (отражающие звук материалы и конструкции) отвечают следующим ориентировочным показателям: поверхностная масса не менее 20 кг/м^2 , коэффициент звукопоглощения не более 0,1.



- a* – на схеме продольного разреза;
- б* – на схеме плана;
- 1* – прямой звук;
- 2* – падающий звук;
- 3* – отраженный звук;
- 4* – уровень ушей слушателей;
- 5* – контур зала;
- И* – источник звука;
- М₁* и *М₂* – мнимые источники звука;
- В₁* и *В₂* – вспомогательные точки;
- С* – слушатель

Рисунок 3.20. – Построение геометрического отражения с использованием касательной плоскости в случае театрального зала; источник звука находится на авансцене

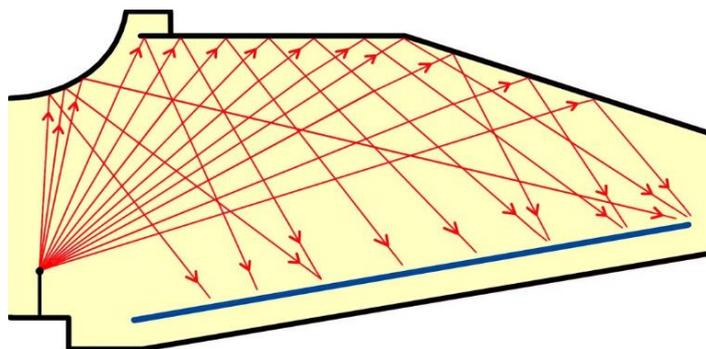
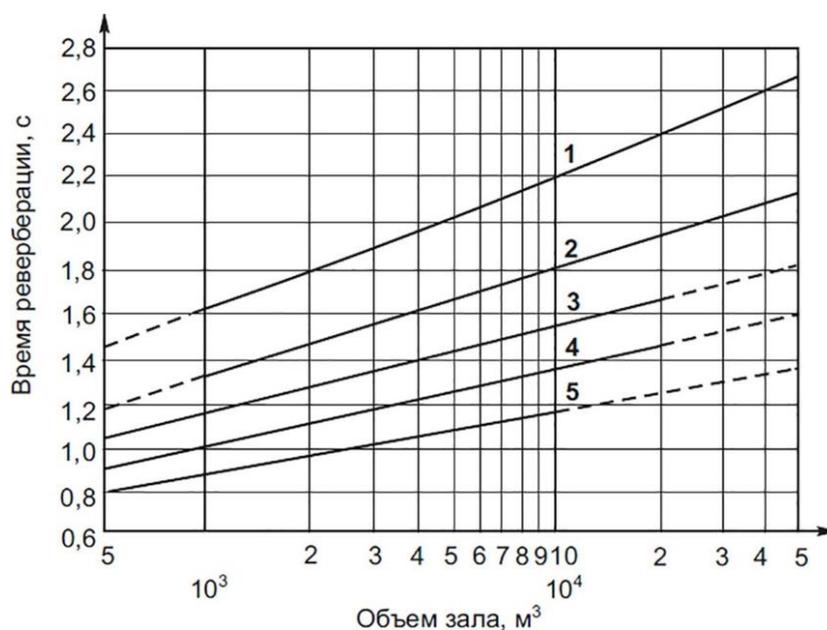


Рисунок 3.21. – Построение отражений звука на схеме продольного разреза зрительного зала; источник звука находится на авансцене

Что касается *времени реверберации*, оно для обеспечения чистоты звука в случае речи, чтобы не было гулкости, должно быть достаточно непродолжительным, а в случае музыки, для получения насыщенности тона, наоборот – достаточно продолжительным. Время реверберации в залах регулируется главным образом посредством изменения их размеров и применения поглотителей звука. Чем больше объем зала, тем продолжительнее должно быть это время (рисунок 3.22).



- 1 – залы органной музыки;
 2 – залы симфонической музыки, залы оперных театров, спортивные залы;
 3 – залы камерной музыки, залы музыкально-драматических театров;
 4 – залы многоцелевого акустического назначения, залы драматических театров;
 5 – залы совещаний и заседаний, лекционные залы, конференц-залы, залы пресс-конференций, концертные залы современной эстрадной музыки, пассажирские залы вокзалов и аэропортов

Рисунок 3.22. – Оптимальное время реверберации в диапазоне частот от 500 до 2000 Гц для залов различного назначения в зависимости от их воздушного объема (рисунок 15.1 СН 2.04.01-2020 «Защита от шума»)

Время реверберации в значительной степени зависит и от поглощения звуков зрителями. Поэтому с целью сохранения заданного времени реверберации при разной наполняемости залов зрителями в этих помещениях устанавливают кресла с мягкой обивкой. Она по своему звукопоглощению в случае одного кресла тождественна одному зрителю.

Избавляются от неприятных отражений звука и вообще улучшают акустику зала не только путем более или менее точного определения его формы с помощью геометрической акустики и обеспечивая надлежащее время реверберации, которое зависит от величины

суммарного звукопоглощения. Весьма важно также оптимальным образом *выбрать* и *расположить* на поверхностях, ограждающих зал, *улучшители звука* (отражатели, диффузоры и поглотители).

Например, свести уже упомянутое угловое эхо практически к нулю реально, если верно облицевать потолок и стены поглотителем звука (рисунок 3.23).

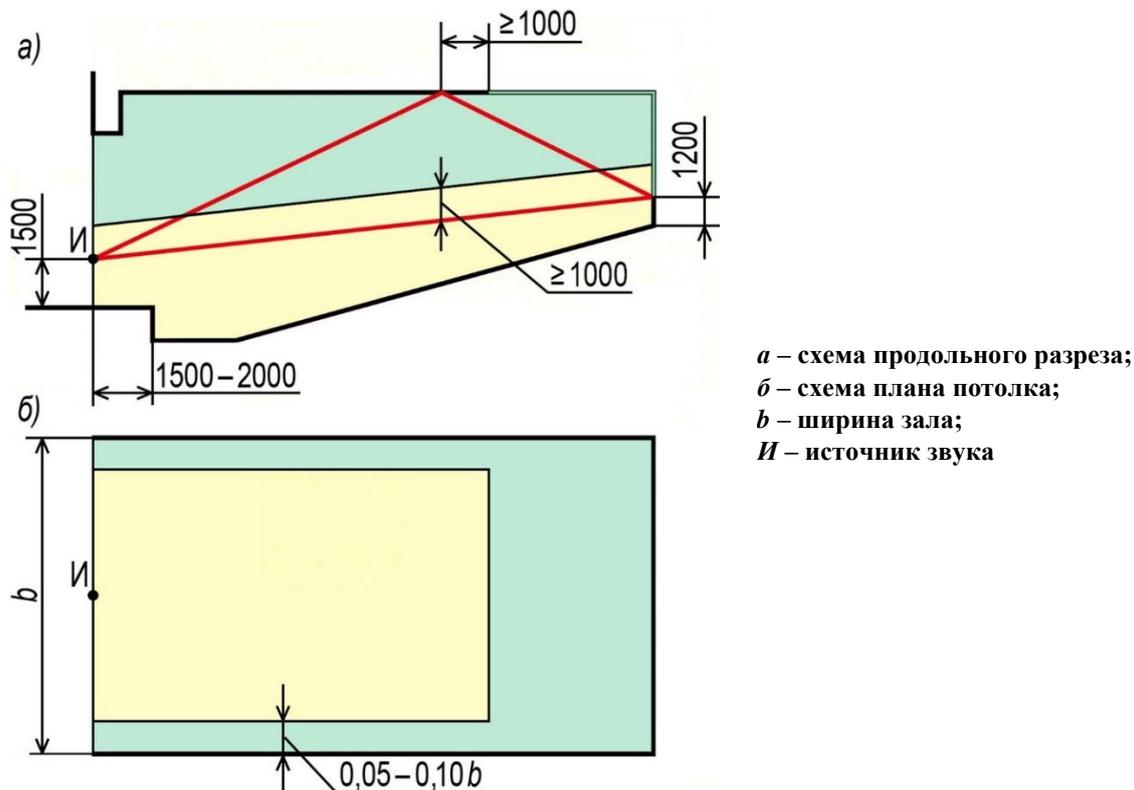


Рисунок 3.23. – Рекомендуемые места расположения звукопоглотителей на ограждениях зрительного зала (выделены зеленым цветом)

Но в принципе лучше чередовать отражатели и поглотители, не занимая последними слишком большую площадь.

Не самыми лучшими с точки зрения акустики являются сравнительно большие *пространственные покрытия* с выгнутыми поверхностями, например, купола и своды, которые концентрируют отраженный звук. Вместе с тем их нередко устраивают над залами в качестве, помимо прочего, выразительных архитектурных элементов. При этом связанные с ними акустические потери минимизируют за счет, в частности, облицовки поверхностей поглотителями звука или придания поверхностям формы, способствующей рассеянию звука, т. е. применяя диффузоры. Так, хорошо рассеивает звук фигурная поверхность, однако только тогда, когда длина звуковой волны менее чем в 10 раз больше размеров ее отдельных частей.

То, что акустическое проектирование считается искусством, а его успех – удачей проектировщиков, подтверждает, например, факт более или менее успешной эксплуатации, в т. ч. в акустическом отношении, обновленного не один раз исторического здания Лондонского Колизеума (англ. London Coliseum). Его зал имеет около 2400 мест для зрителей в четырех уровнях. Поначалу Колизеум был мюзик-холлом, но в конечном итоге стал домашней сценой Английской национальной оперы и Английского национального балета. На рисунке 3.24 показан его зрительный зал после завершения в 2004 г. серьезной реставрации и реконструкции. Отметим, что несмотря на «антиакустический» купол и другие акустические недостатки зала, тонкая работа специалистов-акустиков обеспечила в нем довольно качественный живой звук на большей части зрительских мест.



Рисунок 3.24. – Зрительный зал Лондонского Колизеума; г. Лондон, Великобритания

3.5. Электроакустика

В случае создания в зале надлежащего усиления звука только за счет его отражения дополнительно усиливать звук с помощью средств электроакустики совсем не обязательно. Например, достичь высокого уровня разборчивости речи можно без *электрозвукоусиления*, если объем зала приемлемой акустической формы составляет примерно 1500 м^3 (вместимость зала – 300 человек) и менее. В иных случаях требуется электрозвукоусиление (рисунок 3.25, см. также рисунок 3.15).



Рисунок 3.25. – Помещение, где без электрозвукоусиления не обойтись; одно из общественных зданий в г. Минске,

Если же в зале применяется *система электрозвукоусиления (озвучивания)*, она должна отвечать следующим основным требованиям:

- обеспечивать приемлемый уровень звукового давления при его равномерном распределении по всему залу, чтобы гарантировалось отсутствие излишне громких и излишне тихих (*мертвых*) зон;

- не создавать раздражающе громкого дополнительного шума в зале;
- не изменять параметры исходного звука как по частотам, так и по расположению его источников в пространстве.

Существуют также *системы звуковоспроизведения*, передающие сигнал от носителя, кинопроектора например, к слушателю. В современных больших многоцелевых залах используют *амбиофонические системы звуковоспроизведения*, которые еще и регулируют время реверберации.

Основными элементами звукоусиления являются *микрофоны* (среди них *подвесные, направленные* и *беспроводные*), *усилители*, *громкоговорители* (применяются преимущественно *электродинамические громкоговорители*) и *микшерные пульты*. Несколько громкоговорителей при необходимости объединяют в *звуковую колонку*, часто с вертикальным расположением громкоговорителей (рисунок 3.26).



Рисунок 3.26. – Звуковая колонка с вертикальным расположением громкоговорителей и пример размещения подобных колонок в интерьере здания Национального выставочного центра «БелЭкспо», г. Минск

Что касается усилителей, в каждом конкретном случае следует выбирать те из них, выходная мощность которых существенно больше требуемой. Дело в том, что работа усилителя на пределе возможностей или близко к нему влечет за собой появление неприятных шумов и, не исключено, спектральных искажений исходного звука.

Решение *задач звукоусиления* заключается в подборе электротехнических устройств, выборе мест расположения микрофонов и громкоговорителей, а также требуемой коррекции амплитудно-частотных параметров звукоусиления.

Используют следующие *конфигурации размещения громкоговорителей*: ***централизованную, рассредоточенную*** и ***распределенную***.

При *централизованной конфигурации* громкоговорители находятся рядом друг с другом примерно в одном месте (по бокам сцены, например), а также, для ослабления обратной акустической связи, выше микрофонов и ближе их к зрителям.

При *рассредоточенной системе* громкоговорители размещаются так относительно друг друга, что нужный уровень звукового давления в каждой озвучиваемой зоне создает самый близкий к ней громкоговоритель, а на стыке каждой двух зон уровни звукового давления от смежных громкоговорителей суммируются.

При *распределенной конфигурации* громкоговорители располагают на небольшом расстоянии друг от друга, в результате чего совокупный уровень звукового давления в каждой точке зала создается большей их частью. При этом громкоговорители располагаются на поверхностях зала или интегрируются в спинки кресел. Во втором случае громкоговорители имеют малую мощность, поэтому годятся в основном для усиления речи.

С помощью грамотно спроектированного и настроенного комплекса электроразукоусиления можно равномерно и качественно обеспечить звуком зал вместимостью до 5000 человек и даже более. Но это возможно лишь в случае реализации правильного акустического проекта зала.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое звук и акустика?
2. В виде чего удобно представлять источник звука определенной мощности?
3. Что такое звуковая мощность источника звука?
4. Чем интенсивность звука отличается от звуковой мощности?
5. На что реагирует орган слуха человека?
6. Чем является громкость звука и от чего она зависит?
7. Что такое тон?
8. Чем служит октава?
9. Какие акустические поля рассматривают в акустике?
10. Что такое децибел и бел?
11. С чем соотносят уровни в децибелах и зачем?
12. Как выполняется сложение (вычитание) величин в децибелах?
13. Почему введено такое понятие, как уровень громкости звука, и в чем он измеряется?
14. Какова единица громкости звука и как соотносится уровень громкости звука с его громкостью?
15. Как воздействует звук на сплошную стену?
16. Что называется изоляцией воздушного шума ограждающей конструкцией?
17. Что такое шум и на какие виды его подразделяют?
18. Каким путем осуществляется защита от шума?
19. Что означает такая единица измерения, как дБА?
20. Какие показатели звукоизоляции нормируются?
21. Что можно отнести к конструкциям с высокой звукоизолирующей способностью?
22. Что такое реверберация и время реверберации?
23. В чем в общем смысле заключается акустическое проектирование залов?
24. Что такое геометрическая акустика?
25. В чем суть метода мнимых источников звука?
26. Когда необходимо электроразукоусиление и как оно осуществляется?

4. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Приятную во всех отношениях, т. е. комфортную, световую среду в помещениях и вне их дизайнер предметно-пространственной среды способен создавать лишь при условии глубокого понимания того, что такое естественное и искусственное освещение, как то и другое обеспечивается и соотносится друг с другом. При этом он должен по-деловому принимать ведущую роль архитектора в разработке архитектурной части проекта, в т. ч. в определении ориентации здания по сторонам горизонта и назначении формы и размеров световых проемов.

4.1. Основные понятия и определения светотехники

Свет – электромагнитное излучение в диапазоне волн длиной от 380 до 780 нм, вызывающее у человека зрительное ощущение (рисунок 4.1). Электромагнитное излучение состоит из фотонов, или квантов электромагнитного излучения, которые не обладают массой и существуют, если только движутся со скоростью света – 300 000 км/с в вакууме и 299 704 км/с в воздухе. Волны с несколько меньшей длиной волны – ультрафиолетовое излучение, с несколько большей – инфракрасное излучение.

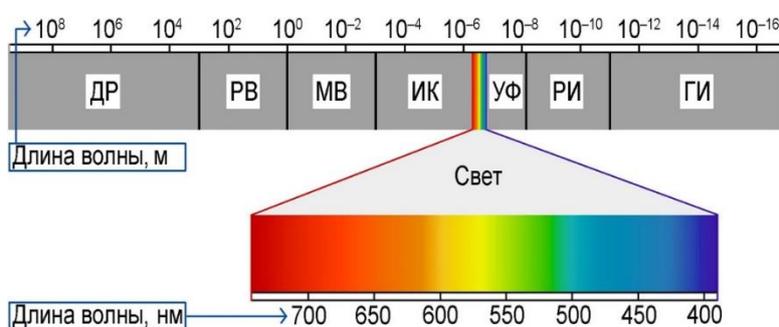


Рисунок 4.1. – Спектр электромагнитного излучения; ДР – длинные радиоволны, РВ – радиоволны, МВ – микроволны, ИК – инфракрасное излучение, УФ – ультрафиолетовое излучение, РИ – рентгеновское излучение, ГИ – гамма-излучение

Световой поток – количество световой энергии, которое переносится через единицу площади за единицу времени; единица измерения – **люмен**, лм. Световой поток характеризует мощность видимого излучения. Количество люменов применительно к источнику света показывает, сколько света он излучает во всех направлениях. В люменах измеряют полный световой поток, создаваемый, в частности, разными лампами. Например, величина светового потока лампы накаливания мощностью 75 Вт и светодиодной лампы мощностью 10 Вт – около 1000 лм, люминесцентной лампы мощностью 35 Вт – более 300 лм, металлогалогенной лампы мощностью 70 Вт – более 5000 лм. Заметим, что мощность ламп – это не мощность видимого излучения.

Сила света – отношение светового потока, который распространяется в определенном направлении внутри элементарного телесного угла (рисунок 4.2), к этому углу; единица измерения – **кандела**, кд. Сила света характеризует пространственную плотность светового потока или, иными словами, показывает, насколько сконцентрирован свет. Например, сила света лампы накаливания мощностью 100 Вт и люминесцентной лампы той же мощности примерно 100 кд, при этом у светодиодной лампы мощностью 2,1 Вт сила света составляет примерно 250 кд.

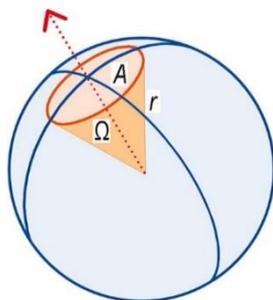


Рисунок 4.2. – Телесный угол

Освещенность – отношение светового потока, который падает на часть поверхности, к площади этой части; единица измерения – **люкс**, лк ($\text{лм}/\text{м}^2$). Некоторые ориентировочные величины освещенности: в помещении при искусственном освещении 20–5000 лк, днем на улице при облачном небе 5000–10 000 лк, на улице в ясный солнечный день 100 000 лк.

Яркость света (источника света или освещаемой площади) – отношение светового потока, который переносится в элементарном пучке лучей и распространяется в телесном угле, к площади сечения этого пучка лучей; единица измерения – **кандела на квадратный метр**, $\text{кд}/\text{м}^2$. Например, яркость солнца составляет приблизительно $10^9 \text{ кд}/\text{м}^2$, а люминесцентной лампы – 5000–10 000 $\text{кд}/\text{м}^2$. Яркость света называют главным фактором, который влияет на уровень светового ощущения человеческого глаза. Попавшая в поле зрения яркость света в интерьере во многом характеризует степень комфортности его освещения.

На рисунке 4.3 продемонстрирована взаимосвязь между световым потоком, силой света, яркостью света и освещенностью.

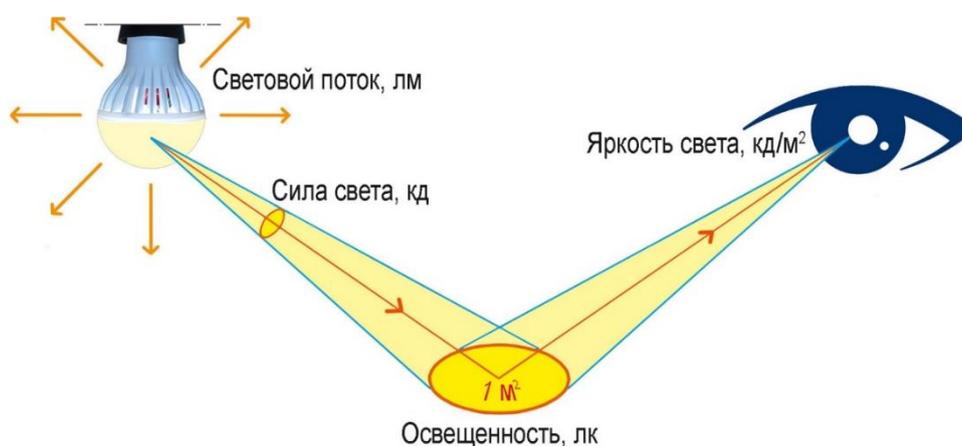


Рисунок 4.3. – Взаимосвязь между световым потоком, силой света, яркостью света и освещенностью

Световой поток, измеряемый в люменах, учитывает весь свет, который излучается его источником. Однако свет от него не распределяется равномерно во всех направлениях, поэтому используется такая физическая величина, как сила света. Единицей силы света служит кандела. Значение в канделах указывает, сколько света излучается в определенном направлении. Понятие «освещенность» относится к освещаемой поверхности. При этом в люксах измеряют не количество излучаемого света, а то его количество, которое достигает определенной поверхности. Попросту говоря, чем больше люксов, тем ярче освещена поверхность, а чем больше люменов, тем ярче светильник. Данное обстоятельство помогает более или менее точно оценивать функциональность различных осветительных устройств.

Световая отдача (эффективность) источника света – отношение излучаемого им светового потока к его же мощности; единица измерения – **люмен на ватт**, $\text{лм}/\text{Вт}$. Световая отдача характеризует энергоэффективность источника света. Так, лампа накаливания тратит на свою работу в единицу времени в несколько раз больше электроэнергии, чем светодиодная, обеспечивающая ту же освещенность.

Цветовая (спектрофотометрическая, колориметрическая) температура источника света – температура **абсолютно черного тела**, испускающего излучение такого же цвета, как и рассматриваемый источник света, единица измерения – **кельвин**, К. **Абсолютно черным телом** называется физическое тело, при любой температуре поглощающее все падающее на него электромагнитное излучение. Абсолютно черное тело, если его температура не равна 0 К, испускает электромагнитное излучение любой частоты и визуально обладает цветом (рисунок 4.4). Спектр излучения этого тела обуславливается лишь его температурой. Свойства абсолютно черного тела присущи солнцу. Энергетический максимум его излучения приходится на долю волны длиной приблизительно 450 нм – это отвечает температуре наружных слоев светила как абсолютно черного тела, равной примерно 6000 К.

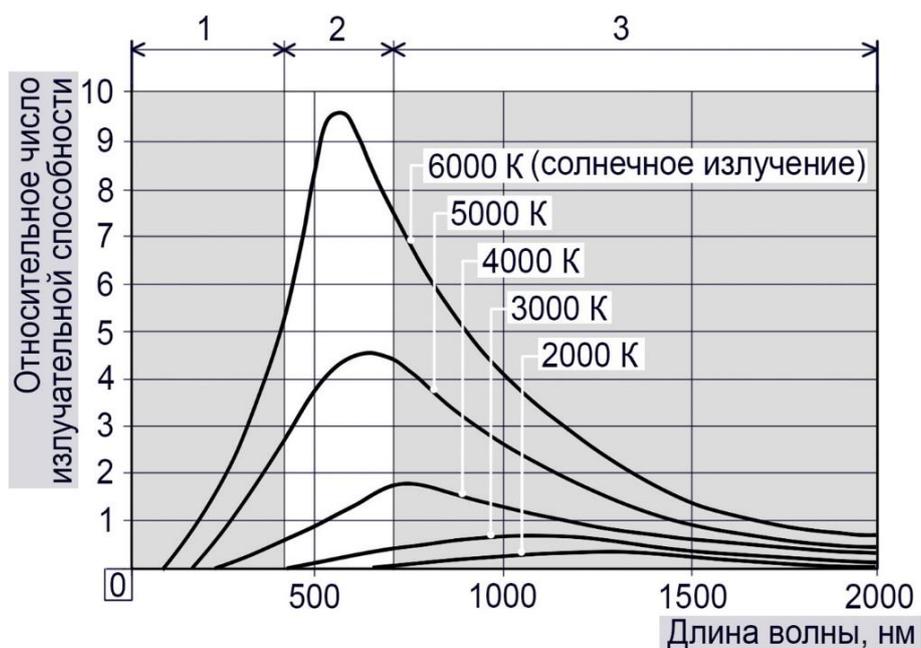


Рисунок 4.4. – Спектры излучения абсолютно черного тела при различных температурах

Если, условно говоря, нагреть абсолютно черное тело до температуры 800–900 К, то оно станет красным (цвет некоторых нагретых металлов), до 2000 К – оранжевым (раскаленные угли), до 3000 К – желтым (небо у горизонта при восходе солнца), до 5000 К – белым (цвет солнца в полдень), до 8000–10 000 К – синим (в северном полушарии небо на севере перед восходом солнца). Любопытно, что цвета, считающиеся в быту холодными (белый и синий), создаются в результате действия самых «горячих» температур.

Цветность света описывается цветовой температурой. Три главные цветности света: тепло-белая – менее 3300 К, холодно-белая – 3300–5300 К, дневного света – более 5300 К (рисунок 4.5). Лампы с одинаковой цветностью могут иметь различные характеристики цветопередачи вследствие спектрального состава излучаемого ими цвета.

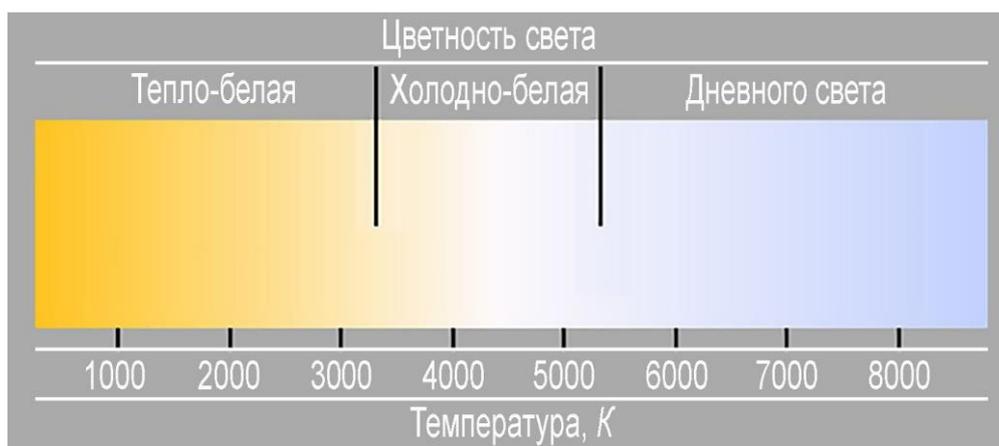


Рисунок 4.5. – Цветовая температура, цветность света

Цветопередача – способность источника света (лампы) передавать цвет освещаемого объекта.

Индекс цветопередачи (англ. *colour rendering index*, CRI или R_a) количественно выражает указанную выше способность – от 1 (наихудшая цветопередача) до 100 (наилучшая цветопередача). Индекс цветопередачи, равный 100, имеет естественный солнечный свет. Чем ближе

значение индекса к 100, тем выше качество освещения. Индекс цветопередачи ввели потому, что различные лампы могут иметь одинаковую цветовую температуру, по-разному передавая при этом цвета освещаемых объектов.

Для определения индекса цветопередачи лампы фиксируется сдвиг цвета с помощью восьми *эталонных цветов*: увядшая роза, горчичный, салатный, светло-зеленый, бирюзовый, небесно-голубой, фиолетовая астра и сиреневый (рисунок 4.6). Расчет ведут по специальной методике, получая количественное значение отклонения цвета эталонов, которые освещены тестируемой лампой. Чем меньше отклонение, тем выше индекс цветопередачи.

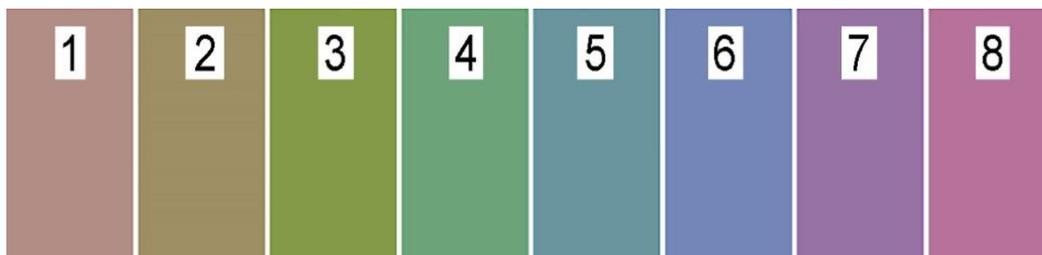


Рисунок 4.6. – Восемь эталонных цветов для определения индекса цветопередачи

Например, плохая цветопередача у натриевых газоразрядных ламп (индекс цветопередачи менее 39), посредственная – у ртутных газоразрядных ламп (индекс цветопередачи 40–59), хорошая – у ламп люминесцентных низкого давления с высоким качеством цветопередачи (индекс цветопередачи 70–79), очень хорошая – у ламп накаливания, галогенных и светодиодных ламп.

КПД светильника – отношение светового потока светильника к световому потоку установленной в нем лампы, служит для оценки энергоэффективности светильника.

4.2. Естественное освещение помещений

Солнечное освещение в нормативном отношении подразделяют на *естественное освещение* и *инсоляцию*. Естественное освещение и инсоляция зависят от географических данных местности, времени года и суток, состояния атмосферы.

Естественное освещение помещений с гигиенической точки зрения должно быть:

- равномерным и без слепящего прямого и отраженного солнечного света;
- обеспечивающим надлежащую освещенность рабочих поверхностей и яркость окружающего пространства.

Солнечный и дневной свет, будучи *естественным светом*, свободно поступают в помещения через световые проемы (светопрозрачные конструкции). Благодаря им внутри зданий создается комфортная световая атмосфера и экономится электроэнергия, идущая на искусственное освещение.

Солнечный и дневной свет – не одно и то же.

Солнечный свет – это свет, который излучается непосредственно солнцем, когда нет облачности.

Дневной свет – это свет, который излучается всем небесным полушарием, полностью закрытым облаками. Иначе говоря, дневной свет является *рассеянным (диффузным)* светом неба.

Выделяют *три вида естественного освещения помещений*: *боковое*, *верхнее* и *комбинированное*.

Боковое естественное освещение бывает одно-, двух-, трехсторонним и круговым (рисунок 4.7). Бокового освещения не всегда достаточно (например, в тех случаях, когда окна помещений находятся на северной стороне). Помогает решить проблему верхнее освещение.



a – экстерьер; *б* – интерьер

Рисунок 4.7. – Боковое естественное освещение в здании Национального выставочного центра «БелЭкспо», г. Минск

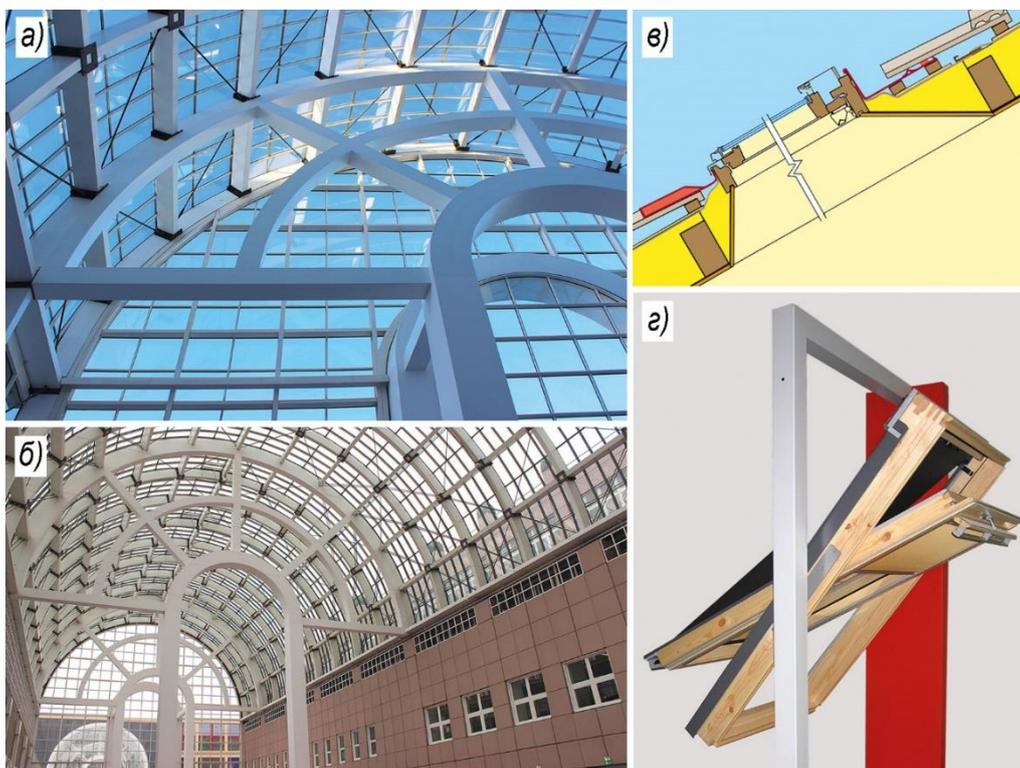
Верхнее естественное освещение обеспечивается за счет светопрозрачных крыш, зенитных фонарей и других пропускающих свет конструкций (рисунок 4.8).



a – большой купол торгового центра «Столица» в г. Минске;
б – зенитные фонари торгово-выставочного центра «Деревня Хундертвассера» в г. Вене (Австрия);
в – стеклянная крыша офисного здания The Squaire в г. Франкфурте-на-Майне (Германия);
z – пересекающиеся ленточные зенитные фонари над путями и платформами железнодорожного вокзала «Аточа» в г. Мадриде (Испания)

Рисунок 4.8. – Светопрозрачные конструкции, обеспечивающие верхнее освещение

Комбинированное естественное освещение – это одновременно боковое и верхнее естественное освещение (рисунок 4.9). Отдельного упоминания заслуживают интегрируемые в скатные утепленные кровли *мансардные окна*, являющиеся одновременно, подчеркнем, и вертикальными (боковое естественное освещение), и горизонтальными (верхнее естественное освещение) светопрозрачными конструкциями (рисунок 4.9, z).



а – стена и цилиндрическая оболочка павильона «Галерея» выставочного центра «Мессе Франкфурт» в г. Франкфурте-на-Майне (Германия) в солнечную погоду; **б** – то же в пасмурную погоду; **в** – продольный разрез крыши с мансардным окном торговой марки VELUX; **г** – мансардное окно торговой марки VELUX на выставке в г. Минске
Рисунок 4.9. – Светопрозрачные конструкции, обеспечивающие комбинированное освещение

Когда естественного освещения недостаточно, его дополняют искусственным (рисунок 4.10). Такой вид освещения называют *совмещенным*.



а – главный фасад; **б** – интерьер (вид на позолоченный алтарь в стиле ампир)
Рисунок 4.10. – Совмещенное освещение в кафедральном соборе г. Гетеборга (Швеция) в солнечный майский день

В случае естественного освещения можно изменять только пропускание света в помещение. Соответствующее проектное регулирование осуществляет архитектор. Когда необходимо, вместе с архитектором этим занимается и дизайнер предметно-пространственной среды.

Яркость небосвода в целом, а также в его отдельных зонах и точках неравномерна и изменчива. Она зависит не только от положения солнца, но и от характеристик облачности и других

обстоятельств. Поэтому устанавливать показатели естественной освещенности помещений в абсолютных единицах, а именно в люксах, бессмысленно.

Оценивают естественную освещенность помещений с помощью относительной величины. Ею является *коэффициент естественной освещенности (КЕО)*, обычно измеряемый в *процентах*.

КЕО (e_M) – это отношение естественной освещенности (в люксах), которая создается дневным светом (непосредственным и после отражений) в некоторой точке M заданной (рабочей) поверхности помещения (E_M), к одновременной освещенности снаружи (в люксах), которая создается на горизонтальной плоскости дневным светом полностью открытого небосвода (E_H):

$$e_M = (E_M / E_H) \cdot 100 \%$$

Иными словами, КЕО – это доля в %, которую в определенной точке помещения составляет освещенность от одномоментной освещенности горизонтальной площадки под открытым небом.

Подчеркнем, что при определении E_M и E_H солнечный свет не учитывается, а также отметим, что КЕО в каждой конкретной точке помещения всегда один и тот же.

Что касается нормативного значения КЕО, его следует обеспечивать в определенной *расчетной точке* помещения. По нормам СН 2.04.03-2020 «Естественное и искусственное освещение» и в зависимости от того, какая жилая комната и какой вид естественного освещения рассматривается, расчетная точка располагается или на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, или в центре помещения на плоскости пола.

Значения КЕО в помещении выбирают исходя из сложности зрительной работы и системы естественного освещения. По нормам СН 2.04.03-2020 «Естественное и искусственное освещение» значения КЕО в случае только естественного освещения составляют, например, для жилых комнат квартир 0,5 % при боковом освещении, 2,0 % при верхнем и комбинированном освещении. Эти значения невелики, они достижимы при сравнительно небольших размерах световых проемов.

Выполнять моделирование и ориентировочные расчеты естественного освещения помогают *закон проекции телесного угла* и *закон светотехнического подобия*.

Закон проекции телесного угла гласит, что естественная освещенность E_M в некоторой точке M на рабочей поверхности помещения, которая создается поверхностью небосвода, прямо пропорциональна его яркости L и площади проекции на освещаемую рабочую поверхность телесного угла σ , в пределах которого из некоторой точки M виден участок небосвода (рисунок 4.11):

$$E'_M = L\sigma.$$

Принятые при этом *допущения* таковы: яркость небосвода во всех его точках одинакова, влияние отраженного света и остекления светопроема не учитывается.

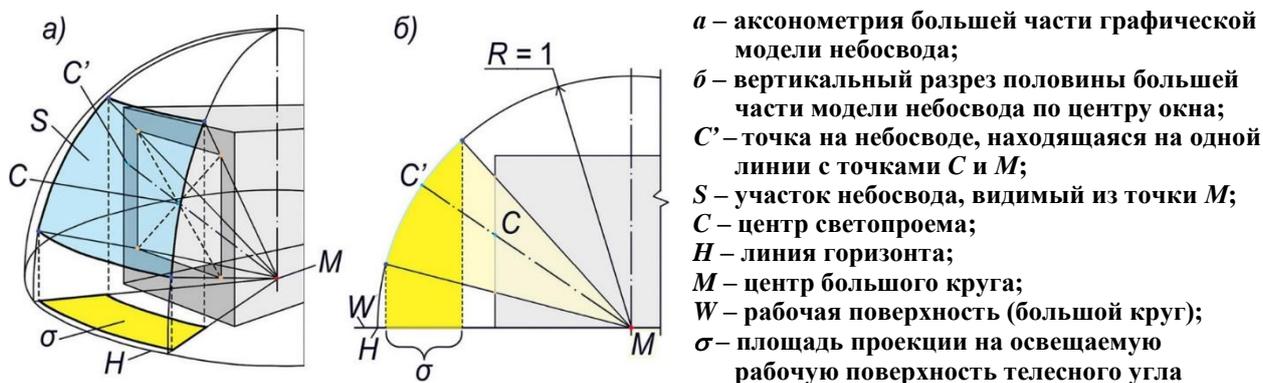
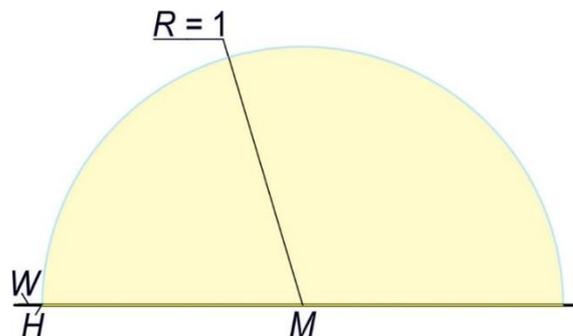


Рисунок 4.11. – Схема, поясняющая закон проекции телесного угла

Освещенность под полностью открытым небосводом согласно закону проекции телесного угла равна произведению яркости небосвода и площади проекции небосвода (полусферы) на горизонтальную плоскость (рисунок 4.12):

$$E'_H = L\pi R^2.$$

Рисунок 4.12. – Схема, поясняющая закон проекции телесного угла в случае полностью открытого небосвода



Если в формулу по определению КЕО подставить вместо E_M и E_H соответственно $L\sigma$ и $L\pi R^2$, то получится

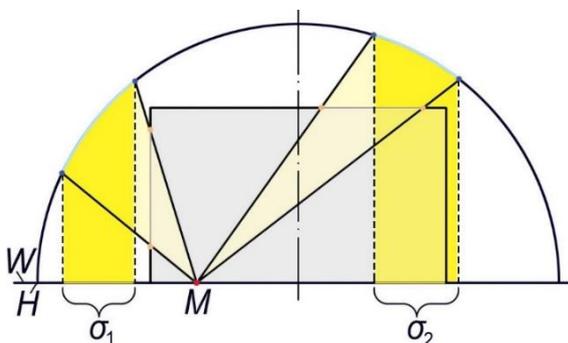
$$e'_M = \varepsilon = (\sigma/\pi) \cdot 100 \text{ \%}.$$

Определенный применительно к закону проекции телесного угла КЕО – это **геометрический КЕО** (ε).

Выходит, что **КЕО в некоторой точке помещения** («просто» КЕО позволительно назвать полным) суммирует *три составляющие*: 1) геометрический КЕО; 2) долю полного КЕО, которая относится к отражению дневного света зданиями напротив и землей (тротуарами, газонами и т. д.) при освещении сбоку; 3) долю полного КЕО, которая относится к отражению дневного света поверхностями помещения.

Закон проекции телесного угла дает возможность судить о **световой активности** (*светоактивности*) **светопроема**. Как видно из рисунка 4.13, если один и тот же светопроем мысленно перемещать по ограждающим помещению конструкциям, то выяснится, что больше всего света на некоторую точку M на рабочей поверхности помещения он пропустит, имея самую близкую к зениту ориентацию. Вот почему, в частности, ценятся наклонные *мансардные окна*: через них в помещение поступает намного больше естественного света, нежели через вертикальные окна с той же площадью и видом остекления.

Рисунок 4.13. – Схема, поясняющая понятие светоактивности светопроема



Закон светотехнического подобия гласит, что освещенность в некоторой точке помещения зависит не от *абсолютных* (истинных) размеров помещения, а от его *относительных* размеров.

Геометрическая интерпретация этого закона показана на рисунке 4.14: проекция телесного угла в двух подобных по форме помещениях разной величины одна и та же, а значит, и освещенность в некоторой точке M одинаковая.

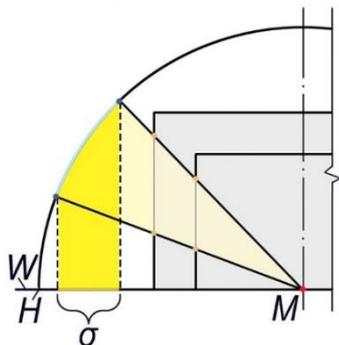
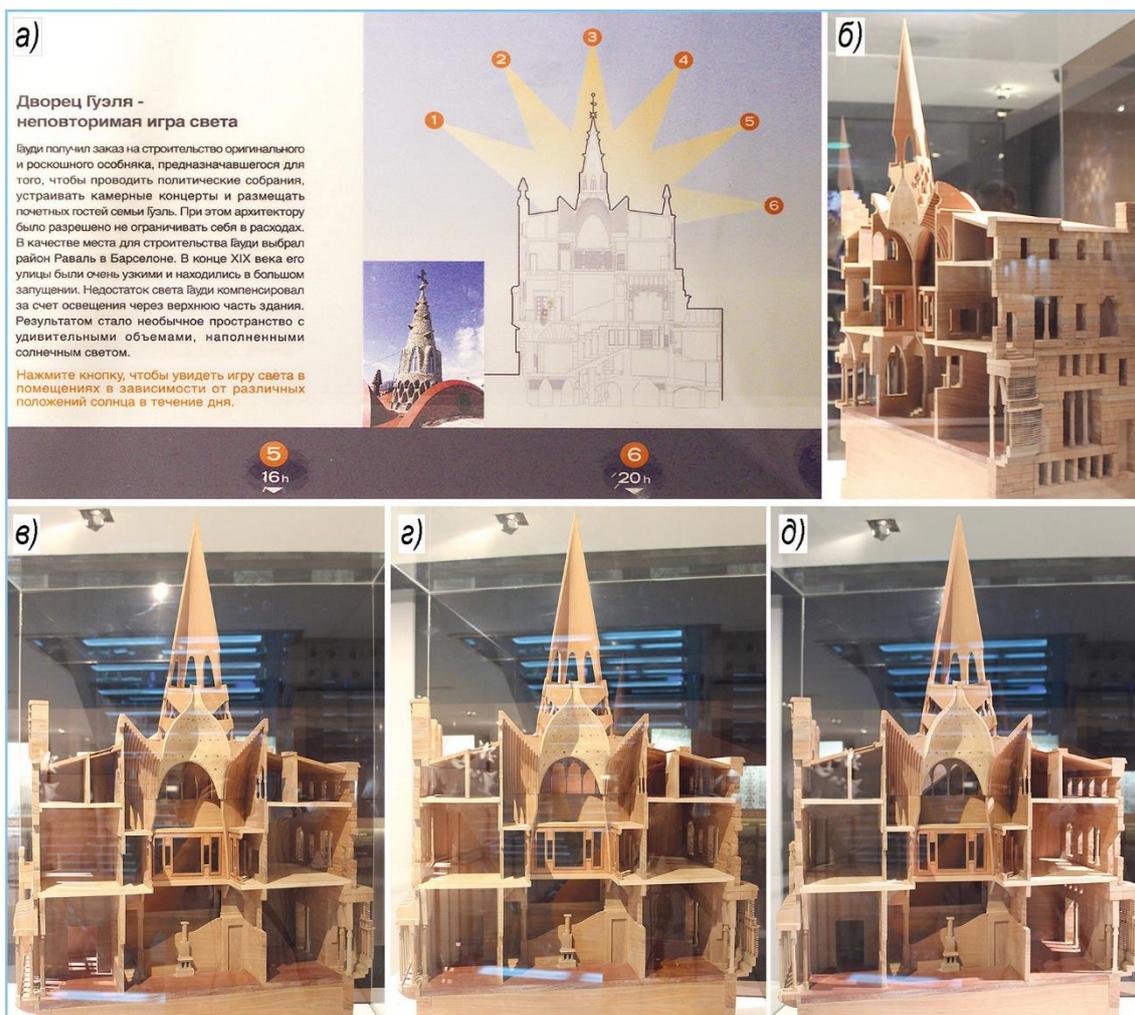


Рисунок 4.14. – Схема, поясняющая закон светотехнического подобия

Закон светотехнического подобия позволяет с достаточной степенью приближения определять освещенность дневным светом в *реальных помещениях*, используя их *модели* и *искусственное небо*. Принцип моделирования естественной освещенности отображен на рисунке 4.15. На нем показаны часть планшета и макет, относящиеся к одному из творений испанского архитектора Антонио Гауди – дворцу Гуэля, оригинал которого находится в г. Барселоне, Испания.



a – информация о дворце Гуэля на планшете; $b-d$ – моделирование естественной освещенности внутреннего пространства части дворца в разное время суток

Рисунок 4.15. – Часть выставочной экспозиции Центра Гауди в г. Реусе, Испания

Для определения фактической освещенности – не только в случае естественного, но и искусственного освещения – используется **люксметр** (рисунок 4.16). Его основные составляющие – фотоэлемент (он заключен в оправу и для защиты от прямых солнечных лучей закрыт стеклом) и связанный с ним гальванометр, отградуированный в люксах.



Рисунок 4.16. – Люксметры, использованные для мониторинга световой среды мультикомфортного дома в г. Дзержинске Минской области (фото архитектора А. В. Кучерявого)

Для определения **опытного КЕО** следует измерять освещенность одновременно в помещении и под открытым небом (лучше на крыше здания) в облачную погоду, причем делать это необходимо как минимум 10 раз.

Инсоляция – это прямое солнечное облучение внутреннего пространства здания. Она, в частности, оказывает эффективное бактерицидное воздействие на микрофлору помещений. При расчетах и измерениях естественного освещения инсоляцию, как уже понятно из вышесказанного, во внимание не принимают.

Продолжительность инсоляции помещения – это время прохождения солнечного луча в течение дня через внутреннюю плоскость светового проема от одной его вертикальной грани к другой.

В расчетное время года (22 марта и 22 сентября) продолжительность непрерывной инсоляции в квартире, например, должна быть не менее 2,5–3,0 ч. Но лучше, чтобы это время составляло примерно 4 ч. Причем это относится не к каждой комнате, а к квартире в целом. Допустим, если в квартире четыре жилые комнаты, достаточно, чтобы указанная инсоляция была по меньшей мере в двух из них. Значит, в стенах разной ориентации одного и того же здания можно устраивать светопроемы разной площади. Так, с его северной стороны уместны маленькие окна (здесь стоит располагать, к примеру, ванные, уборные, кладовки, лестницы), а с южной – большие окна.

Расчеты инсоляции выполняются с помощью компьютерных программ, в т. ч. с задействованием 3D-моделирования, а также вручную: аналитически и графически, когда применяются таблицы, диаграммы и графики. Причем, как считают многие специалисты, ручные методы предельно надежны и дают для большинства случаев вполне приемлемые результаты.

Расчеты инсоляции применительно к помещениям включают в себя, как правило, решение следующих задач:

- 1) определение продолжительности инсоляции или (и) затенения помещений;
- 2) установление геометрических характеристик инсолируемых или (и) затеняемых зон помещений.

Указанные задачи в определенных случаях можно решить и экспериментальным путем, причем как в лабораторных, так и в натурных условиях.

Возьмем для примера два известных ручных графических метода. В основе первого – **инсоляционная линейка** (другое название – **инсографик**), в основе второго – **солнечный транспорт** **Б. А. Дунаева**.

Инсоляционная линейка представляет собой проекцию модели видимой траектории движения солнца относительно расчетной точки на горизонтальную плоскость (рисунок 4.17). Инсоляционная линейка имеет две шкалы: времени и высоты. Шкала времени – это радиальные линии времени, которые соответствуют азимутальным углам положения солнца в ходе дня в конкретный момент времени. Линии времени можно провести, например, через каждые 10 или 15 минут. Те из них, которые отвечают часовым интервалам, обозначаются на периферии графика отметками времени (время суток) и угловой высоты стояния солнца. Точка схода линий шкалы времени – это центр инсоляционной линейки. Шкала высот – это дуги с шагом, например, 1 м, которые пересекают линии шкалы времени. Дуги шкалы высот указывают на высоту объекта, конец отбрасываемой им тени в конкретный момент времени попадает в центр инсоляционной линейки. Ее центр соответствует нулевой отметке шкалы высот.

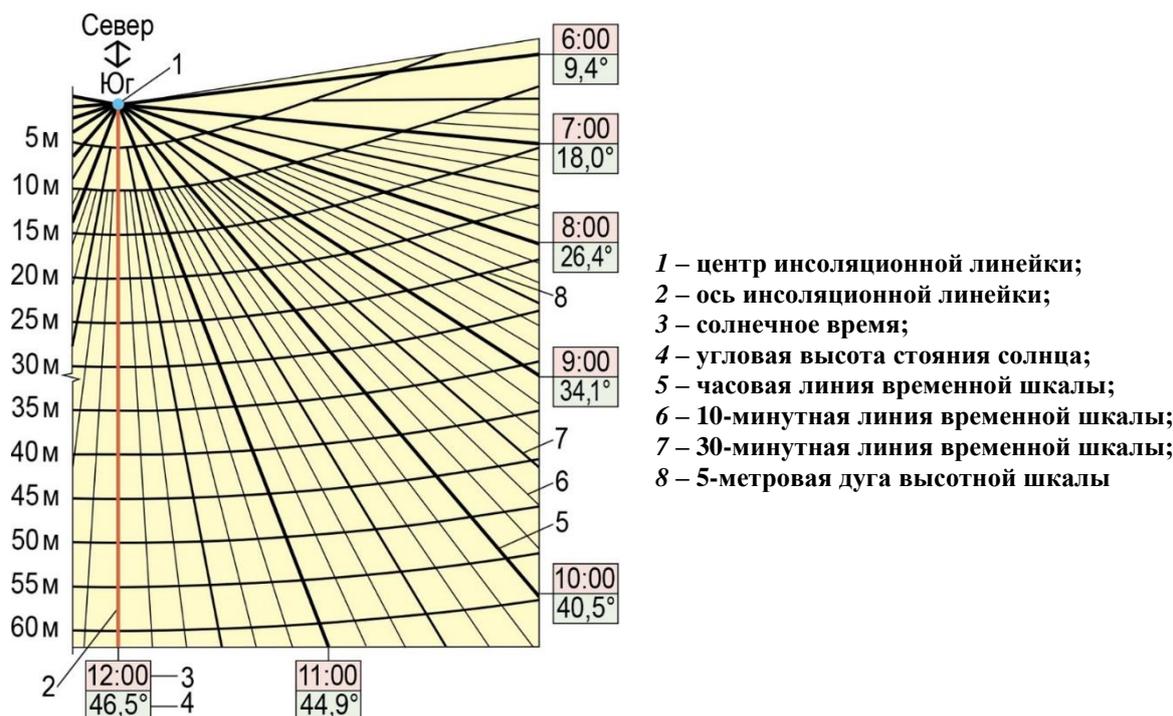


Рисунок 4.17. – Принципиальный вид инсоляционной линейки

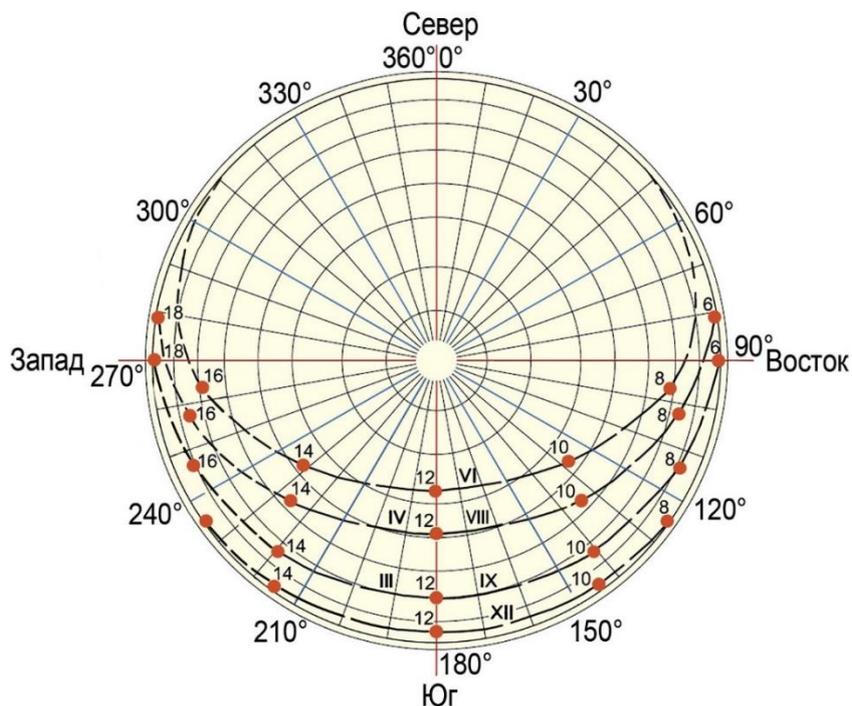
Инсоляционная линейка отражает *солнечное время*, а не привычное поясное, минское например. Поэтому она симметрична относительно полуденного луча. Другая особенность инсоляционной линейки – ее строят применительно к двум *расчетным датам*. Для Беларуси это, как уже указано выше, *22 марта* и *22 сентября*.

При использовании *метода Б. А. Дунаева*, который тоже отражает солнечное время и, по мнению специалистов, обладает высокой универсальностью, первоначально строится *солнечная карта* (рисунок 4.18). Она является горизонтальной проекцией сферической координатной сетки, которая состоит из меридианов и параллелей. Меридианы представляют собой отрезки прямой – радиусы, необходимые для определения азимута солнца, а параллели – концентрические окружности, по которым определяются высоты стояния солнца. Затем на солнечную карту наносят горизонтальную проекцию усредненной траектории видимого движения солнца в определенном месяце года на заданной широте местности.

Солнечная карта сама по себе позволяет определять продолжительность инсоляции точки, которая находится на вертикальной плоскости фасада здания. Эта точка может принадлежать, например, окну. Заметим, что под окном в случае светотехнических расчетов подразумевается та его часть, которая пропускает свет.

Если, например, точка расположена на южном фасаде, она будет инсолироваться в июне примерно с 7:30 до 16:30, т. е. 9 ч. Зная это, можно с ходу сказать, что точка на противоположном,

северном, фасаде окажется в том же месяце под прямыми лучами солнца от восхода до 7:30 и с 16:30 до заката. А если, допустим, точка находится на фасаде юго-восточной ориентации, она будет инсолироваться в марте и сентябре с 9:30 до заката.



III, IV, VI, VIII, IX, XII – месяцы года; 6–18 – время суток

Рисунок 4.18. – Принципиальный вид солнечной карты для 50 °N (50 градусов северной широты)

Чтобы учесть влияние формы световых проемов и их затенения извне на инсоляцию помещений, вместе с солнечной картой используют вспомогательную контурную сетку (рисунок 4.19). На ней радиальные линии соответствуют натурным вертикальным линиям, а кривые линии – натурным горизонтальным линиям того, что затеняет рассматриваемое помещение: его окна или окон, здания или зданий напротив и т. д.

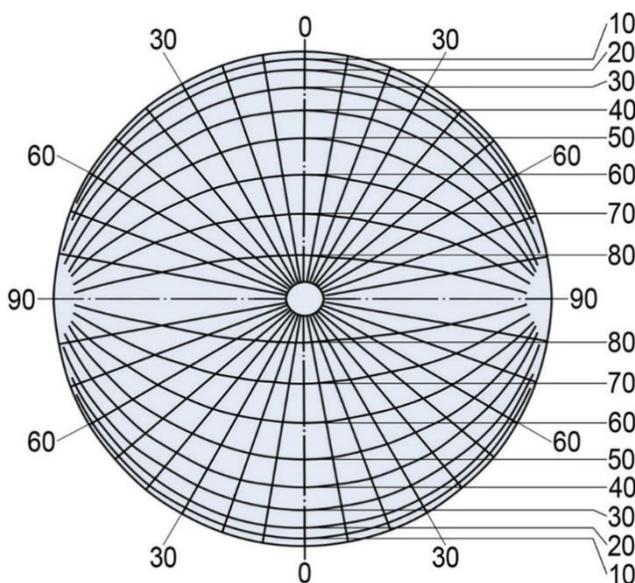
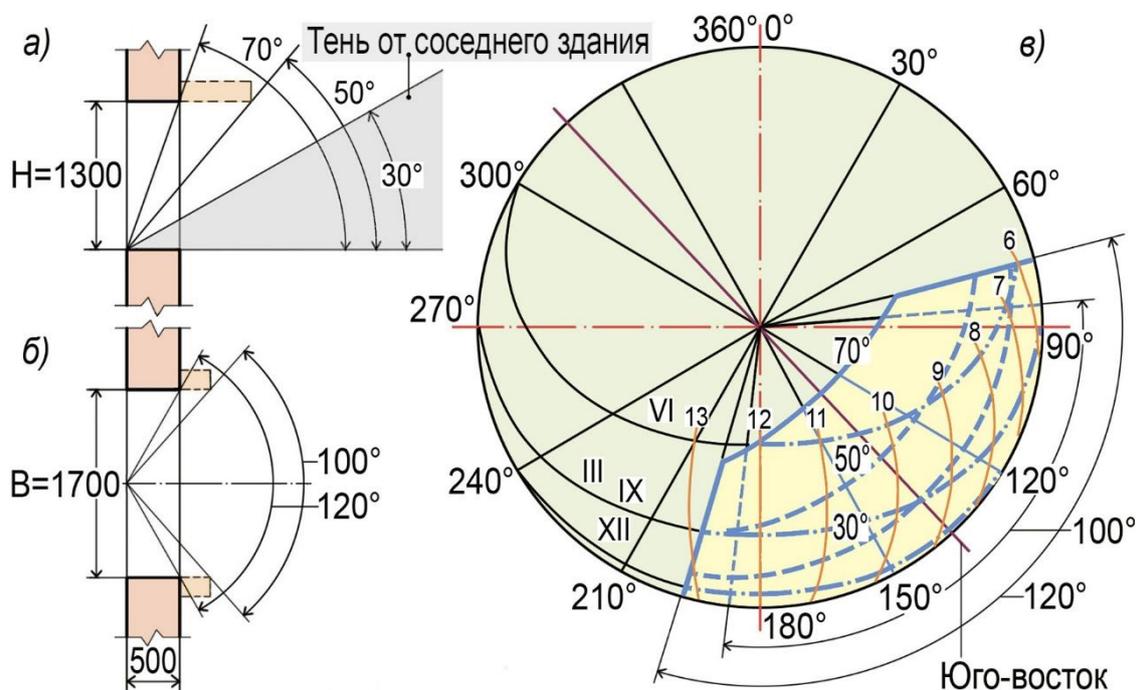


Рисунок 4.19. – Принципиальный вид вспомогательной контурной сетки; размерность величин в градусах

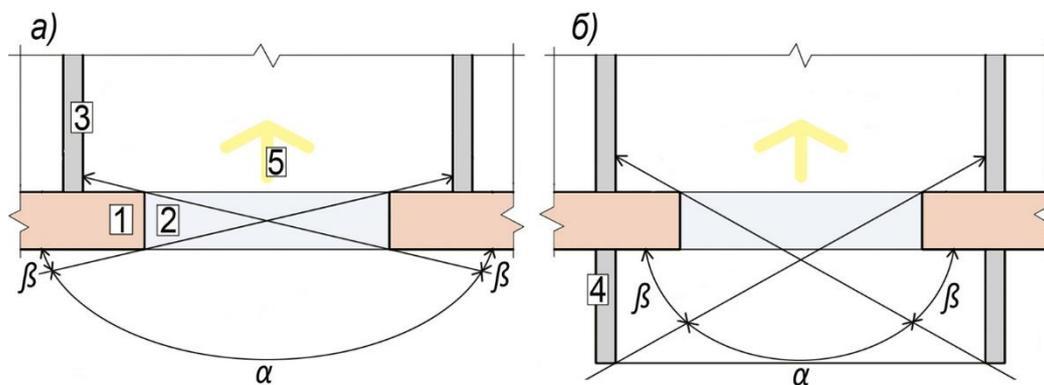
Контурная сетка позволяет построить картограмму, например, контуров затенения светопроема. Эту картограмму совмещают с солнечной картой. На совмещенном изображении продолжительность инсоляции помещения определяется по ограниченным картограммой отрезкам траекторий видимого движения солнца (рисунок 4.20). Используя подобные изображения, можно анализировать продолжительность инсоляции помещения, если его светопроем будет дополнен, например, солнцезащитным устройством или над светопроемом будет лоджия либо терраса.



a, б – схемы фрагмента соответственно разреза и плана стены здания с окном юго-восточной ориентации; *в* – совмещение картограммы контура указанного окна с солнечной картой;
H – высота светопроема; *B* – ширина светопроема

Рисунок 4.20. – Пример совмещения картограммы с солнечной картой

При решении инсоляционных задач следует учитывать не только градостроительную ситуацию и природную продолжительность инсоляции, но и горизонтальные и вертикальные теневые углы светопроема, формируемые откосами и другими частями окна, стенами и перекрытием лоджии или иными элементами здания. Например, горизонтальный теневой угол тем больше, чем толще стена или чем длиннее стена лоджии (рисунок 4.21).



a – светопроем без лоджии; *б* – светопроем с лоджией; 1 – наружная стена; 2 – светопроем; 3 – перегородка; 4 – стенка лоджии; 5 – поступление солнечных лучей в помещение;
 α – инсоляционный угол светопроема; β – теневой угол светопроема

Рисунок 4.21. – Определение теневого угла светопроема на фрагменте схемы плана здания

Оценивая помещение, мы прежде всего отмечаем, как оно освещается естественным светом, в т. ч. прямыми солнечными лучами. Такой свет зрительно увеличивает размеры помещения, а светопроемы обеспечивают зрительную связь между внутренним и наружным пространством. Происходит так называемое перетекание пространств, которое благотворно воздействует на человека.

Для получения комфортной естественной световой среды помещения необходимо, чтобы в нем посредством главным образом архитектурных и интерьерных решений (это в первую очередь его размещение, ориентация и планировка) обеспечивались требуемые значения продолжительности инсоляции и КЕО. Улучшать световую среду внутреннего пространства зданий за счет указанных решений можно по-разному: например, устраивая эркеры (рисунок 4.22) или делая ступени внутриквартирных лестниц из стекла (рисунок 4.23).



Рисунок 4.22. – Эркер в помещении строящегося малоэтажного дома



Рисунок 4.23. – Стекланные ступени внутриквартирной лестницы, находящейся в процессе изготовления

Из других способов обеспечения или улучшения естественной световой среды помещений стоит назвать архитектурно-технические решения с применением *полых световодов*. Они бывают *трубчатыми* (рисунок 4.24) и *плоскими*. Первые направляют естественный свет по вертикали, вторые – по горизонтали. В общем случае состоят из таких основных элементов, как *светонаправляющий канал*, *светоприемник* и *светораспределитель*. Последний распределяет (рассеивает) естественный свет по помещению. Светоприемник трубчатых световодов располагается на крыше, а светоприемник плоских световодов – на фасаде здания. Крышный вариант может обеспечить улавливание света от всего небосвода. Высокая отражательная способность внутренней поверхности светонаправляющего канала (почти до 100 %) гарантирует передачу естественного света на расстояние до 20 м и более без изменения его спектра.



Рисунок 4.24. – Использование полого трубчатого световода диаметром 1 м в здании типа терминала аэропорта

4.3. Искусственное освещение помещений и экстерьерной среды

Уровень комфортности помещений и экстерьерной среды во многом определяют системы *искусственного освещения (осветительные системы)*. Их основными элементами служат *электрические лампы*, называемые также электролампами или лампами (таблица 5).

В вакуумированной или заполненной инертным газом колбе обычных *ламп накаливания* спираль из тугоплавкого металла (чаще всего это вольфрам) под действием электротока нагревается до температуры порядка 2500 – 3000 К. В результате этого излучается тепло и свет.

Основные *преимущества* таких ламп – низкая стоимость, небольшие размеры, отсутствие токсичных компонентов, приятный и привычный в быту спектр свечения.

Их основные *недостатки* – низкая эффективность, малый срок службы, хрупкость, при термударе или разрыве нити под напряжением возможен взрыв колбы, пожарная опасность.

В колбу *галогенных ламп*, являющихся *разновидностью ламп накаливания*, добавляют пары галогенов (брома или йода), позволяющие повысить температуру спирали (см. таблицу 5). Галогенные лампы, по сравнению с аналогичными по яркости света обычными лампами накаливания, тратят энергии ориентировочно на 30–50 % меньше и служат в 2–3 раза дольше. Галогенные лампы создают приятную, теплую световую атмосферу.

Таблица 5. – Примерные сравнительные характеристики широко распространенных ламп

Энергоэффективность	Меньшая		Большая	
Виды ламп				
Световой поток, лм	Лампы накаливания	Галогенные лампы	Люминесцентные лампы	Светодиодные лампы
450	40 Вт	29 Вт	9 Вт	5 Вт
800	60 Вт	43 Вт	14 Вт	7 Вт
1100	75 Вт	53 Вт	19 Вт	9 Вт
1600	100 Вт	72 Вт	23 Вт	11 Вт
Срок службы	1 год	2–3 года	4–8 лет	5–25 лет
Экономия	0 %	до 30 % и более	до 70 % и более	до 80 % и более

В *разрядных (газоразрядных) лампах*, большинство из которых работает в парах ртути, для генерации оптического излучения применяется газовый разряд. Так, в *люминесцентных лампах*, наиболее известной разновидности разрядных ламп, видимый свет излучает главным образом люминофор, светящийся в свою очередь за счет ультрафиолетового излучения разряда. Шире всего распространены *газоразрядные ртутные лампы высокого и низкого давления*. Вторые (к ним относятся как раз люминесцентные лампы) используют в основном для освещения жилых, общественных и производственных помещений (рисунок 4.25).

Рисунок 4.25. – Люминесцентная лампа в жилом помещении



Газоразрядные лампы, в т. ч. люминесцентные, нельзя включать непосредственно в электросеть. Поэтому применяют специальные *пускорегулирующие аппараты (балласты)* – электромагнитный балласт и неоновый стартер, а также электронный балласт. В случае последнего заметного мигания ламп нет.

Выпускаются *линейные* и *компактные* люминесцентные лампы.

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) имеют изогнутую форму колбы (см. таблицу 5). Это позволяет размещать их в светильниках небольших размеров. КЛЛ часто имеют встроенный электронный балласт. Бывает, КЛЛ называют *энергосберегающими лампами*. Это не совсем верно, т. к. имеются энергосберегающие лампы, которые работают на других физических принципах.

В большинстве случаев не существует проблем при замене ламп накаливания КЛЛ. Ведь вторые имеют аналогичные цоколи. Важно также, что КЛЛ способны создавать практически такую же световую атмосферу, как и лампы накаливания.

Весьма эффективны *натриевые разрядные лампы*, в которых свет яркого оранжево-желтого цвета генерируется в основном благодаря излучению паров натрия. Эти лампы вследствие монохроматического излучения используют главным образом для уличного освещения, в т. ч. декоративного (рисунок 4.26).



Рисунок 4.26. – Натриевые разрядные лампы уличного освещения в г. Минске

К разрядным лампам высокого давления относятся и *металлогалогенные лампы*, в горелку которых добавляют излучающие галогениды некоторых металлов. Эти лампы отличаются одновременно мощностью, эффективностью и компактностью, поэтому они нашли широкое применение для освещения, например, больших помещений общественных зданий.

Основные *преимущества* разрядных ламп – эффективность, длительный срок службы по сравнению с лампами накаливания, экономичность.

Их основные *недостатки* – сравнительно высокая стоимость, необходимость в пускорегулирующих аппаратах, наличие токсичных компонентов.

Светодиодные лампы – это системы, которые состоят из светодиодов (англ. Light Emitting Diodes, LED), источников питания и преобразователей напряжения, драйверов светодиодов, цепей контроля и управления, устройств для отвода тепла, линз и иных оптических устройств для смешивания, рассеивания и излучения света.

Корпус светодиодной лампы может быть уникальным или подобным корпусам других ламп (рисунок 4.27). Выпускаются светодиодные лампы практически под все имеющиеся типы цоколей.

Светодиод или, точнее, светоизлучающий диод является полупроводниковым устройством с электронно-дырочным переходом. Движение электронов через полупроводниковый материал происходит при наличии электрического тока. Часть из электронов переходит в более низкое энергетическое состояние. Отдаваемая ими энергия выделяется в виде фотонов – света. От полупроводникового материала зависит длина волны, которая определяет цвет света.

Основные *преимущества* светодиодных ламп – эффективность (потребляют электроэнергию примерно в 8–10 и 2–3 раза меньше, чем соответственно лампы накаливания и люминесцентные лампы), длительный срок службы (ориентировочно до 30000 – 50000 ч.), широкий диапазон цветовой температуры (1800 – 6600 К), динамическое управление цветом, отсутствие токсичных компонентов, высокая степень пожарной безопасности.



Рисунок 4.27. – Оригинальные светодиодные лампы в строительном гипермаркете в г. Минске

Для подсветки интерьеров, в частности мебели, хороши *светодиодные ленты*. Они состоят из проводящей ток подложки, к которой прикреплены последовательно соединенные между собой светодиоды. Для защиты последних от быстрого выхода из строя на ленте монтируются резисторы, ограничивающие токовую нагрузку. Светодиодные ленты применяются как сами по себе, так и в специальных корпусах, или профилях (рисунок 4.28).



Рисунок 4.28. – Светодиодная лента в специальном корпусе, смонтированная на подвесном кухонном шкафе

Основные *недостатки* светодиодных ламп: сравнительно высокая стоимость, постепенная потеря яркости, способность вызывать некоторый дискомфорт спектр свечения, чувствительность к перепадам напряжения в электросети.

Отметим, что светодиодные лампы, если они имеют достаточно высокое качество, являются самыми перспективными источниками света.

Органические светодиоды (англ. Organic Light Emitting Diodes, OLED) – это слоистые структуры, которые состоят из тонких слоев материалов органического происхождения – полимеров. Последние при пропускании через них электрического тока излучают рассеянный свет, равномерно распределенный по всей площади структуры. Сравнительно новое и перспективное направление развития органических светодиодов – применение их для освещения (рисунок 4.29). Они могут сделать светильником даже оконный стеклопакет или потолок.

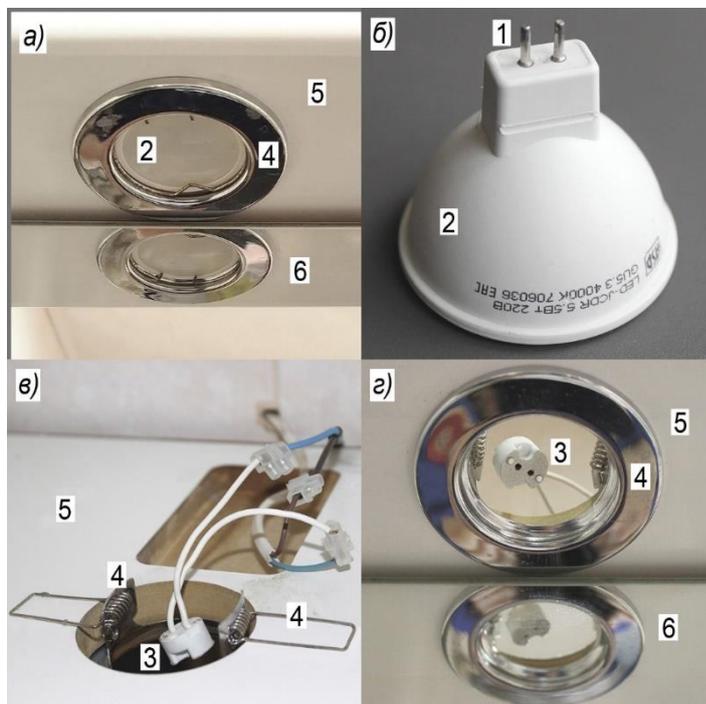


Рисунок 4.29. – Светильник с органическими светодиодами производства компании WAC Lighting, США (фото WAC Lighting)

Обеспечивает плотную установку электролампы в патрон осветительного прибора и подключает ее к сети конструктивно принадлежащий электролампе **цоколь**. Существуют разные виды цоколей, среди них: **резьбовой** (он у первых трех, если считать слева направо, ламп, показанных в таблице 5), **штырьковый** и **штифтовой**. Первый обозначается буквой Е, второй – G, третий – В.

Самые распространенные варианты **резьбового цоколя** – Е14, Е27 и Е40 диаметром соответственно 14, 27 и 40 мм. Цоколи Е27 и Е14 отличают большинство бытовых ламп, цоколь Е40 – часть мощных ламп, которые применяются прежде всего для уличного освещения.

Штырьковые цоколи, которым присуща простота и универсальность, соединяются с патронами посредством контактных штырьков. Такие цоколи характерны для многих галогенных, люминесцентных и светодиодных ламп (рисунок 4.30). Есть, в частности, штырьковые цоколи G5.3, G10, G13 и G23 (число после буквы означает расстояние между штырьками в миллиметрах). Лампы с цоколем G5.3, которые могут быть галогенными и светодиодными, используются, например, в случае потолочных светильников (спотов) и декоративной подсветки. Лампы с цоколем G13 – люминесцентные или светодиодные с трубчатой колбой диаметром 26 мм.



- а* – встроенный светильник с галогенной лампой;
- б* – галогенная лампа со штырьковым цоколем G5.3;
- в* – вид сверху встроенного светильника без лампы;
- г* – вид снизу встроенного светильника без лампы;
- 1* – штырьковый цоколь;
- 2* – галогенная лампа;
- 3* – патрон;
- 4* – элементы корпуса светильника;
- 5* – верхняя панель шкафа;
- 6* – зеркальная дверца шкафа

Рисунок 4.30. – Светильник, встроенный в верхнюю панель навесного шкафа для ванной

Корпус **штифтового цоколя** снабжен штифтами для соединения лампы с патроном. Такой цоколь у крайней правой лампы, показанной в таблице 5 (см. выше).

Совершенствование осветительных систем как с точки зрения энергоэффективности, так и обеспечения качества искусственного освещения идет в разных частных направлениях. Но объединяет их во все большем числе случаев принадлежность к той или иной автоматизированной системе управления зданием под названием «**умный дом**».

Эта система включает в себя такие основные части, как **контроллер** (объединяет датчики и устройства умного дома в единую сеть), **датчики** (измеряют параметры окружающей среды и передают соответствующие данные контроллеру) и **устройства** (поддерживают требуемый комфорт в помещениях).

Контроллер связывает пользователя с системой «умный дом». При этом для управления ею используются смартфоны, персональные компьютеры (стационарные, планшетные, ноутбуки), панели и пульта управления, выключатели, реле и др. **Устройства** (приборы) получают команды от контроллера по прямому указанию пользователя в соответствии с заданным им сценарием или в зависимости от текущего положения вещей, например естественной освещенности помещения.

Элементы системы «умный дом» соединяют друг с другом, используя *проводную* или *беспроводную связь*. Единственное, но существенное преимущество первой – она надежнее второй. Что касается беспроводной связи, она проста в монтаже и обеспечивает дистанционное управление, в т. ч. при использовании голосовых команд. Бывает, когда оба варианта связи совмещают.

Одни из важных элементов систем автоматизированного освещения – **датчики движения** и **датчики окружающего освещения**, или **датчики освещенности**.

Датчики движения сигнализируют о необходимости свет включить (когда человек входит в неосвещенную или недостаточно освещенную комнату) либо выключить (когда человек выходит из освещенной комнаты и в ней больше никого не остается).

Датчики окружающего освещения сигнализируют о необходимости увеличить или уменьшить яркость свечения ламп накаливания или светодиодных ламп. А осуществляют это изменение яркости такие устройства, как **диммеры**, или **регуляторы света**. Самые компактные и экономичные диммеры – электронные. Многофункциональные диммеры также плавно включают и отключают свет, имитируют присутствие людей и выполняют некоторые другие действия.

Система «умный дом» регулирует и естественное освещение, главным образом за счет автоматизированного управления шторами, жалюзи и т. п.

Регулирование освещенности внутренних пространств приобретает все более комплексный и все в меньшей степени зависящий от вмешательства пользователя характер. В идеале во всех помещениях здания или квартиры комбинируется по заданным сценариям работа всех источников света, в т. ч. естественного. При этом изменяется не только яркость, но и цвет света.

Отметим, что важным принципом создания в помещениях светового комфорта является разделение их на зоны, в каждой из которых реализуется свой сценарий искусственного освещения (рисунок 4.31).



а, б – распределительный зал под остекленной крышей-оболочкой в The Squire, самом большом офисном здании Германии, г. Франкфурт-на-Майне, ночью (**а**) и днем (**б**)

Рисунок 4.31. – Световой комфорт в общественных помещениях (начало)



в, з – в банкетном зале ресторана недалеко от г. Хайфы, Израиль
Рисунок 4.31. – Световой комфорт в общественных помещениях
(окончание)

4.4. Совмещенное освещение помещений

С некоторой натяжкой совмещенное освещение можно считать разновидностью естественного, т. к. оно и сознательно, и на бессознательном уровне воспринимается людьми как безусловно главное.

Если не принимать во внимание широты с полярной ночью, то дополнять естественное освещение искусственным необходимо в основном в утреннее и вечернее время суток в случае помещений с достаточным естественным освещением, а кроме того, и в очевидно светлое время суток в зонах помещений с недостаточным естественным освещением. А недостает такого освещения, например, в зданиях с широкими корпусами, в которых имеются глубокие помещения (рисунок 4.32).

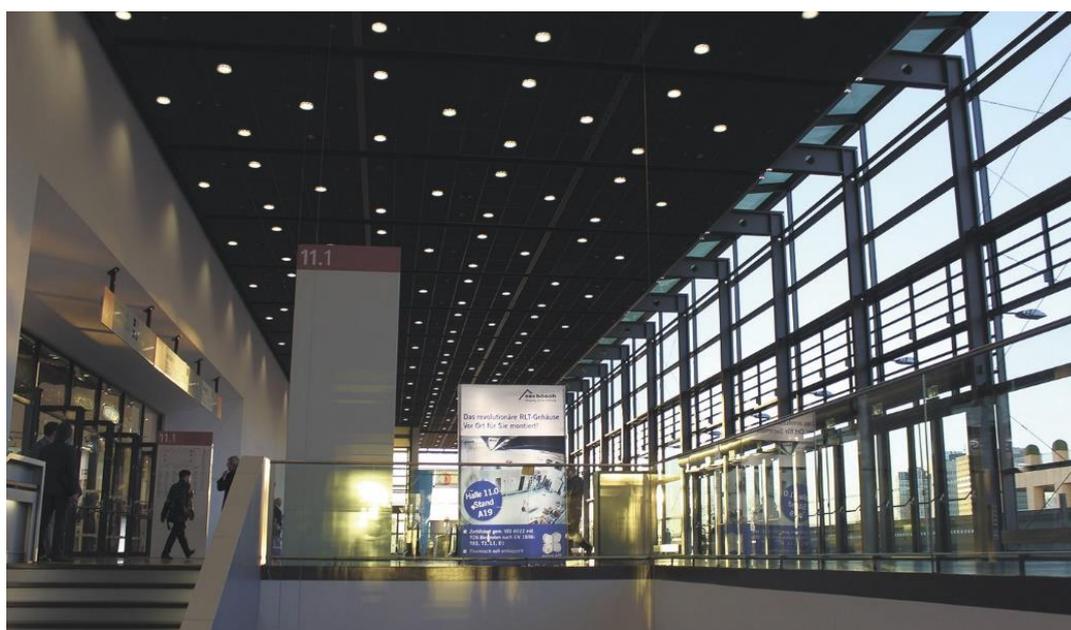


Рисунок 4.32. – Совмещенное освещение в одном из павильонов выставочного центра
г. Франкфурта-на-Майне, Германия

Из вышесказанного вытекает следующий вывод: если КЕО в помещении определенного вида не соответствует нормам, в нем следует применять источники искусственного света с характеристиками, максимально приближенными к характеристикам рассеянного света неба, чтобы пространство виделось как можно более целостным.

Что касается создающих постоянное дополнительное освещение осветительных приборов, резонно во многих случаях, чтобы они имели плоские светящиеся поверхности, которые подобны обычным окнам и фонарям верхнего света.

4.5. Солнцезащита

Солнечное освещение (в первую очередь инсоляция) имеет свою меру. Его переизбыток влечет за собой световой дискомфорт, превышение безопасной дозы ультрафиолетового облучения и перегрев. Значит, задачи организации солнечного освещения помещений должны решаться совместно с задачами их *солнцезащиты*.

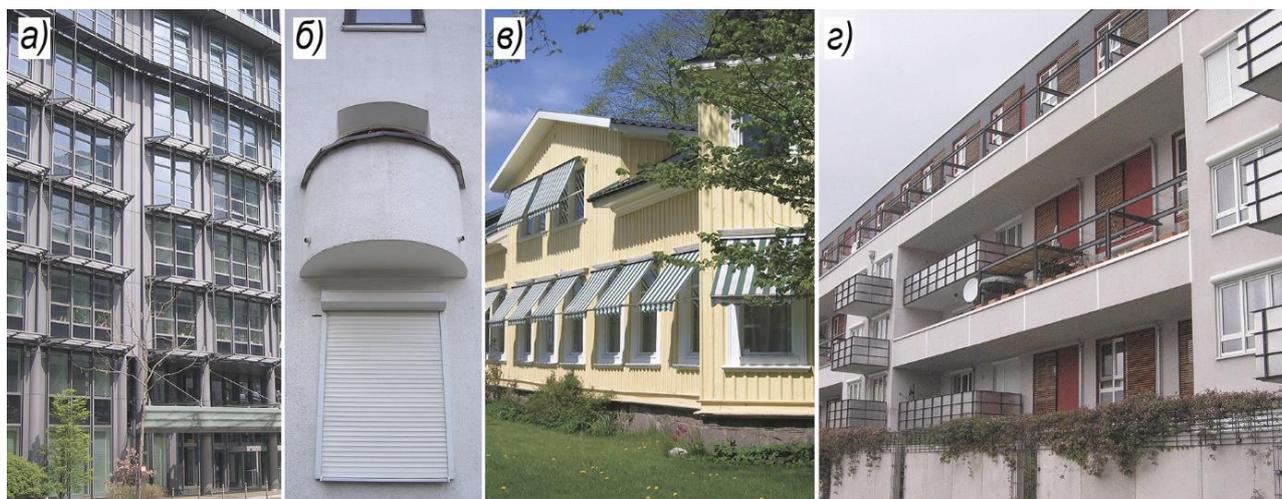
Важную роль в обеспечении солнцезащиты играют соответствующие архитектурно-планировочные и конструктивные мероприятия. К первым относится, в частности, то, что связано с ориентацией и взаимным расположением зданий, а также с конфигурацией зданий в плане, ко вторым – с профилем наружных стен и крыш зданий. Так, хорошо защищают помещения южной и близкой к ней ориентации от избыточного солнечного излучения балконы и лоджии.

Максимально эффективной солнцезащита получается при использовании специальных *солнцезащитных устройств (СЗУ)*. В общем смысле СЗУ – это стационарный или регулируемый вручную либо автоматически конструктивный элемент здания, который предназначен для полного или частичного отражения поступающей в здание прямой солнечной радиации.

По расположению относительно светового проема СЗУ можно подразделять на *наружные (внешние), межстекольные и внутренние*.

Наружные СЗУ (они располагаются со стороны фасада у световых проемов) бывают в виде *козырьков* горизонтальных и наклонных (сплошных и решетчатых), *вертикальных экранов* (стационарных и регулируемых и др.), *маркиз* (мобильных и стационарных), *роллет* – свертывающихся жалюзи и т. д. Некоторые из этих устройств показаны на рисунке 4.33.

Наружные СЗУ обладают наивысшей эффективностью в защите помещений от перегрева. Несмотря на неизбежный недостаток в виде усложненных конструктивных решений, обусловленных необходимостью противостояния климатическим воздействиям, они становятся все более популярными.



а – горизонтальные решетчатые козырьки (г. Франкфурт-на-Майне, Германия);
б – роллеты (г. Минск); **в** – маркизы (г. Алингсос, Швеция);
г – роллеты, раздвижные жалюзи, галереи и балконы (г. Франкфурт-на-Майне, Германия)

Рисунок 4.33. – Наружные солнцезащитные устройства

Межстекольные СЗУ, а точнее – их затеняющие элементы в виде чаще всего алюминиевых жалюзи с горизонтальными ламелями, располагаются в пространстве между стеклами или в камере стеклопакета (рисунок 4.34, а). В первом случае желательна вентиляция межстекольного пространства.

Внутренние СЗУ (они располагаются со стороны помещения у световых проемов) бывают в виде *штор*, *жалюзи* (горизонтальных и вертикальных), *рольштор* и т. д. Из показанных на рисунке 4.34 таких устройств наиболее технически сложным является обслуживающая световые проемы эркера система, которая включает в себя шторы как затеняющий элемент, а также карниз с электроприводом (рисунок 4.34, д). Электропривод может быть подключен к системе управления, получающей данные от датчиков освещенности и таймеров для обеспечения работы штор в автоматическом режиме.



а – межстекольное СЗУ; **б** – шторы-плиссе; **в** – вертикальные жалюзи в кинотеатре «Мир» (г. Минск); **г** – рольшторы в аудитории Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой; **д** – потолочные направляющие и глайдеры (бегунки) для штор с электроприводом

Рисунок 4.34. – Межстекольное и внутренние СЗУ

Уместно добавить следующее. Достижение комфорта в помещениях в теплое время года с помощью кондиционеров довольно-таки затратно, ведь стоимость охлаждения внутреннего пространства зданий намного, ориентировочно в 3 – 8 раз, выше стоимости его обогрева. И поэтому тоже целесообразно предусматривать наружную солнцезащиту помещений, которая существенно снижает их перегрев и соответственно нагрузку на кондиционеры.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое свет?
2. В чем измеряют световой поток и что под ним понимают?
3. В чем измеряют силу света и что под ней понимают?

4. В чем измеряют освещенность и что под ней понимают?
5. В чем измеряют яркость света и что под ней понимают?
6. В чем измеряют световую отдачу источника света и что под ней понимают?
7. В чем измеряют цветовую температуру и что под ней понимают?
8. Каковы три главные цветности света?
9. Что понимают под цветопередачей и индексом цветопередачи?
10. Отношением каких двух величин определяется КПД светильника?
11. На что подразделяется солнечное освещение?
12. В чем разница между солнечным и дневным светом?
13. Какие три системы естественного освещения выделяют?
14. С помощью чего оценивают естественную освещенность помещений?
15. О чем гласит закон проекции телесного угла?
16. Что такое световая активность светопроема?
17. О чем гласит закон светотехнического подобия?
18. Что такое инсоляция и продолжительность инсоляции помещения?
19. С помощью чего и как выполняют расчеты инсоляции?
20. Какими бывают и как работают полые световоды?
21. Каковы примерные сравнительные характеристики широко распространенных электроламп?
22. В чем заключаются основные преимущества и недостатки галогенных и светодиодных электроламп?
23. Какими цоколями оснащаются электролампы?
24. Как идет совершенствование осветительных систем?
25. Когда необходимо и как осуществляется совмещенное освещение помещений?
26. Как осуществляется солнцезащита помещений?

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Архитектура гражданских и промышленных зданий : учеб. для вузов : в 5 т. / под общ. ред. В. М. Предтеченского. – Т. 2: Основы проектирования / Л. Б. Великовский [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1976. – 215 с.
2. Архитектурная физика : учеб. для вузов : спец. «Архитектура» / В. К. Лицкевич [и др.]; под ред. Н. В. Оболенского. – М. : Архитектура-С, 2007. – 448 с.
3. Блази, В. Справочник проектировщика. Строительная физика / В. Блази. – М. : Техносфера, 2004. – 480 с.
4. Жуков, Д. Д. Основы конструирования : учеб. пособие / Д. Д. Жуков. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т имени Евфросинии Полоцкой, 2022. – 92 с.
5. Зоколей, С. В. Архитектурное проектирование, эксплуатация объектов, их связь с окружающей средой / С. В. Зоколей ; пер. с англ. М. В. Никольского ; под ред. В. Г. Бердичевского, Б. Ю. Бранденбурга. – М. : Стройиздат, 1984. – 670 с.
6. Казбек-Казиев, З. А. Архитектурные конструкции : учеб. для вузов по спец. «Архитектура» / З. А. Казбек-Казиев [и др.] ; под ред. З. А. Казбек-Казиева. – М. : Архитектура-С, 2011. – 341 с.
7. Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии / Х. Фрей [и др.] ; под ред. Х. Нестле. – М. : Техносфера, 2013. – 864 с.

Дополнительная

8. Архитектурная физика : Светотехника и акустика : учеб.-метод. комплекс / сост. Н. В. Ощепкова, М. Н. Войтик, О. И. Ковальчук ; под общ. ред. Н. В. Ощепковой. – Новополоцк : ПГУ, 2007. – 264 с.
9. Климухин, А. А. Проектирование акустики зрительных залов : учеб.-метод. указания к курсовой расчетно-графической работе / А. А. Климухин, Е. Г. Киселева. – М. : МАрхИ, 2012. – 56 с.
10. Поповский Ю. Б. Расчет инсоляции в жилых помещениях с применением инсографика для 55 ° с. ш. : учеб.-метод. пособие по выполнению расчетно-графической работы по архитектурной светологии. – М. : МАрхИ, 2018. – 20 с.
11. Соловьев, А. К. Физика среды / А. К. Соловьев. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 344 с.
12. Шильд, Е. Строительная физика / Е. Шильд [и др.] ; пер. с нем. В. Г. Бердичевского ; под ред. Э. Л. Дешко. – М. : Стройиздат, 1982. – 296 с.

Интернет-ресурсы

13. Национальный фонд технических нормативных правовых актов : [сайт]. – URL: <http://tnpa.by/> (дата обращения: 11.03.2024).
14. Научно-проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «Стройтехнорм» : [сайт]. – URL: <https://stn.by/> (дата обращения: 11.03.2024).
15. Google [website]. – URL: <https://www.google.com/> (date of access: 14.03.2024).
16. ArchDaily, Broadcasting Architecture Worldwide [website]. – URL: <https://www.archdaily.com/> (date of access: 14.03.2024).
17. Pinterest [website]. – URL: <https://www.pinterest.com/> (date of access: 12.03.2024).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСНОВЫ	5
1.1. Основные сведения о современных зданиях	5
1.2. Конструктивные элементы и конструкции. Требования к строительным конструкциям	6
1.3. Проектная документация в строительстве	8
1.4. Модульная координация размеров в строительстве	9
1.5. Виды строительных конструкций. Основные принципы их формообразования	13
1.6. Конструктивные и конструктивно-технологические системы зданий. Три основных вида внутренних пространств	16
1.7. Важнейшие конструкции зданий	20
Вопросы для самопроверки	27
2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.....	29
2.1. Обеспечение энергоэффективности зданий	29
2.2. Перенос теплоты	32
2.3. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций	33
2.4. Основные конструктивные принципы тепловой защиты зданий	36
Вопросы для самопроверки	37
3. АКУСТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ	38
3.1. Звук. Прохождение звука через ограждающую конструкцию	38
3.2. Звукоизоляция ограждающих конструкций	44
3.3. Время реверберации	49
3.4. Акустика залов. Геометрическая акустика	51
3.5. Электроакустика	59
Вопросы для самопроверки	61
4. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ	62
4.1. Основные понятия и определения светотехники	62
4.2. Естественное освещение помещений	65
4.3. Искусственное освещение помещений и экстерьерной среды	76
4.4. Совмещенное освещение помещений	82
4.5. Солнцезащита	83
Вопросы для самопроверки	84
ЛИТЕРАТУРА	86

Учебное издание

ЖУКОВ Дмитрий Дорианович

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего образования
по специальности «Дизайн предметно-пространственной среды»*

В двух частях

Часть 2

Редактор *С. Е. Рясова*

Дизайн обложки: *отдел по связям с общественностью*

Подписано в печать 31.12.2024. Формат 60×841/8. Бумага 80 г/м².
Цифровая печать. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 7,35. Тираж 30 экз. Заказ 467.

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014, перерегистрация от 24.08.2022.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.